





OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Teca (*Tectona grandis L. f.*) no Brasil

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Edilson Batista de Oliveira
Alisson Moura Santos
Editores Técnicos

Embrapa





Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária

Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Edilson Batista de Oliveira
Alisson Moura Santos

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2023

Embrapa Florestas
Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba, Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição
Embrapa Florestas

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Patrícia Póvoa de Mattos*

Vice-presidente: *José Elidney Pinto Júnior*

Secretária-executiva: *Elisabete Marques Oaida*

Membros: *Annete Bonnet, Cristiane Aparecida Fioravante Reis, Elenice Fritzsons, Krisle da Silva, Marcelo Francia Arco-Verde, Marilice Cordeiro Garrastazú, Susete do Rocio Chiarello Penteado, Valderês Aparecida de Sousa*

Supervisão editorial e revisão de texto: *José Elidney Pinto Júnior*

Normalização bibliográfica: *Francisca Rasche*

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica: *Luciane Cristine Jaques*

Fotos capa: *Ailton Vítor Pereira (muda de teca), Daniel de Almeida Papa (tora) e Maurel Behling (árvore isolada, plantio de teca, colheita de madeira e blocos de madeira)*

Fotos de abertura dos capítulos: *Alexandre dos Santos (capítulo 13), Alisson Moura Santos (capítulo 3), Edilson Batista de Oliveira e Freepik.com (capítulo 16), Fabricio Antonio Biernaski (capítulo 5), Maurel Behling (capítulos 1, 2, 6, 10, 11, 17, 18), Rafael Ferreira Alfenas (Capítulo 12), Reginaldo Antonio Medeiros (capítulo 9), Ronaldo Drescher (Capítulo 14), Sérgio Aurélio Branco Gonçalves (capítulo 4), Sidney Fernando Caldeira (capítulo 7), Teotônio Francisco de Assis (capítulo 8).*

1ª edição
Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Embrapa Florestas

Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil / Cristiane Aparecida Fioravante Reis ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2023.
PDF (734 p.) : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web:
http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14
ISBN 978-65-89957-90-4

1. *Tectona grandis*. 2. Madeira. 3. Melhoramento genético vegetal. 4. Mudas. 5. Silvicultura. 6. Sistema de produção. 7. Geotecnologias. 8. Manejo florestal. 9. Entomologia. 10. Produção florestal. I. Reis, Cristiane Aparecida Fioravante. II. Santos, Alisson Moura. III. Oliveira, Edilson Batista de. IV. Embrapa Florestas.

CDD (21. ed.) 633.77

Francisca Rasche (CRB 9-1204)
© Embrapa 2023

Autores

Acelino Couto Alfenas
Engenheiro florestal, PhD em Patologia Florestal, professor voluntário da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Alberto Dorval
Engenheiro florestal, doutor em Ciências Biológicas, professor da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Alessandra da Cunha Moraes-Rangel
Tecnóloga em Sensoriamento Remoto, especialista em Geoprocessamento, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

Alexandre dos Santos
Engenheiro florestal, doutor em Entomologia, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, MT

Alisson Moura Santos
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Allan Libanio Pelissari
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Arthur Guilherme Schirmbeck Chaves
Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, MT

Carla Krulikowski Rodrigues Pelissari
Engenheira florestal, doutora em Ciências Florestais, professora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Cesar Junio de Oliveira Santana
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, especialista em Planejamento Florestal, Vitória, ES

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Daniela Teixeira Vilela
Engenheira florestal, coordenadora técnica do Forest Stewardship Council (FSC Brasil), São Paulo, SP

Daniele Aparecida Alvarenga Arriel
Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento, professora da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG

Diogo Guido Streck Vendruscolo
Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Alto Boa Vista, MT

Edilson Batista de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Elenice Fritzsons
Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Fábio Henrique Della Justina do Carmo
Doutor em Ciências Ambientais e Florestais, Seropédica, RJ

Fabricio Antonio Biernaski
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Klabin S.A., Telêmaco Borba, PR

Fausto Hissashi Takizawa
Engenheiro florestal, diretor de relações institucionais e pesquisa da Teak Resources Company (TRC), Cuiabá, MT

Flávia Sampaio Alexandre
Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, estudante de doutorado em Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Flávio Jesus Wruck
Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Graziela Baptista Vidaurre
Engenheira florestal, doutora em Ciência Florestal, professora da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES

Ivan Tomaselli
Engenheiro industrial madeireiro, doutor em Wood Science, presidente da STCP Engenharia de Projetos Ltda, Curitiba, PR

João Gabriel Missia da Silva
Doutor em Ciências Florestais, estudante de pós-doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES

João Vicente de Figueiredo Latorraca
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Julio Eduardo Arce
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Lilian Guimarães de Favare
Doutora em Ciência Florestal, professora da Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, MT

Luciano Rodrigo Lanssanova
Engenheiro florestal, doutor em Ciências Florestais, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Juína, MT

Mallú Loyane Arenhart Pirolla
Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, analista da Proteca – 4M Agroflorestal, São José dos Quatro Marcos, MT

Marcelo Dias de Souza
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade de Cuiabá, Cuiabá, MT

Márcia Toffani Simão Soares
Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marcos Silveira Wrege
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho
Engenheira florestal, doutora em Recursos Florestais, professora da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Marilice Cordeiro Garrastazú
Engenheira florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Maureen Voigtlaender
Engenheira florestal, doutora em Ciências, auditora da Neocert Certificações Florestais e Agrícolas Ltda., Piracicaba, SP

Maurel Behling
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Otávio Peres Filho
Engenheiro florestal, doutor em Ciências, professor da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Rafael Ferreira Alfenas
Engenheiro florestal, doutor em Fitopatologia, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Ramon Ferreira Oliveira
Engenheiro industrial madeireiro, bolsista de apoio técnico da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES

Reginaldo Antonio Medeiros
Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, MT

Rogério Goularte Moura
Engenheiro florestal, doutor em Ecologia Aplicada, pesquisador da Arboreo.net, Piracicaba, SP

Ronaldo Drescher
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Rubens Marques Rondon Neto
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, MT

Samuel de Pádua Chaves e Carvalho
Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Sidney Fernando Caldeira
Engenheiro florestal, doutor em Ecologia e Recursos Florestais, professor da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Sofia Maria Gonçalves Rocha
Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais, estudante de doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES

Sofia Rumiko Hirakuri
Advogada, doutora em Direito, consultora senior da STCP Engenharia de Projetos Ltda., Curitiba, PR

Teotônio Francisco de Assis
Engenheiro florestal, mestre em Genética e Melhoramento, fundador e consultor da AssisTech Ltda., Nova Lima, MG

Agradecimento

A todos (agências de fomento, associações, empresários, estudantes, extensionistas, instituições privadas e públicas, técnicos, pesquisadores, produtores, professores, profissionais autônomos, universidades e centros tecnológicos, dentre outros) que têm contribuído para o desenvolvimento da cadeia produtiva da teca, em nível mundial.

Apresentação

A espécie *Tectona grandis* L. f. (teca), por possuir madeira de elevado valor, em decorrência de suas excepcionais propriedades, beleza e da elevada demanda no mercado internacional, tem histórico de intensa exploração em suas áreas de ocorrência natural na Índia, Laos, Mianmar e Tailândia. Esse fato levou à pressão, cada vez maior, pela conservação genética de suas populações nativas, de forma a salvaguardar exemplares remanescentes da exploração predatória. Em função da enorme demanda por sua madeira no mercado mundial, plantios de teca passaram a ser realizados, em mais de 70 países tropicais. Dentre esses, o Brasil é considerado um relevante *player* mundial em plantios de curta rotação de teca, especialmente, por possuir algumas regiões que garantem condições ambientais excepcionais ao seu cultivo, atreladas ao uso de clones de bom desempenho e ao uso de práticas silviculturais de elevado nível tecnológico.

Neste cenário, a Embrapa Florestas, por meio de uma parceria envolvendo diversas instituições públicas e privadas lança o livro "Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil".

Essa obra preza por sintetizar um vasto acervo de conhecimentos técnicos-científicos sobre a cadeia produtiva da teca no Brasil, com as seguintes temáticas: **a)** caracterização botânica, distribuição natural e requerimentos ambientais; **b)** contexto do mercado mundial da madeira; **c)** melhoramento genético; **d)** zoneamento edafoclimático no Brasil; **e)** produção de mudas; **f)** silvicultura e manejo sob sistemas de produção de monocultivo e de integração lavoura-pecuária-floresta; **g)** geotecnologias aplicadas aos cultivos; **h)** sanidade; **i)** crescimento e produção; **j)** softwares para manejo florestal de precisão; **k)** planejamento, análise econômica e pesquisa operacional; **l)** qualidade da madeira e **m)** certificação florestal.

Este livro contempla aspectos ligados a quatro Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a saber: ODS 8) Empregos dignos e crescimento econômico: o elevado valor agregado dos produtos gerados a partir da madeira da teca impacta no alcance de níveis mais elevados de produtividade das economias regionais. Denota que a teca é alternativa para o produtor rural diversificar sua atividade e traz informações atualizadas sobre modernização tecnológica e inovação, por meio do foco em setores com alto valor agregado e intensivos em mão de obra; ODS 12) Consumo e produção responsáveis: este livro apresenta informações básicas, fundamentais para o cultivo da teca, desde o plantio até a comercialização. Assim, prima por disponibilizar informações técnicas aos produtores rurais, principalmente de países em desenvolvimento, para que fortaleçam suas capacidades científicas e tecnológicas em rumo aos padrões mais sustentáveis de produção e consumo; ODS 15) Vida terrestre, com os componentes: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade. As plantações florestais com fins comerciais, como é o caso da teca, reduzem a necessidade de exploração de florestas naturais para obtenção de matéria-prima. Como a madeira da teca possui grande valor de mercado e múltiplos usos, ela contribui para a promoção de maior rentabilidade econômica na sua cadeia produtiva e ODS 17) Parcerias e meios de implementação: este livro fornece subsídios técnicos com potencial de impactar a cadeia produtiva da teca, com possibilidade de incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas, privadas e com a sociedade civil, a partir da experiência das estratégias de mobilização de recursos a ser gerada por meio dessas parcerias.

Espera-se que esta publicação seja um documento orientador e uma fonte inovadora de informações para produtores rurais, empreendedores, investidores, agências de fomento a créditos e pesquisa, pesquisadores, professores, graduandos e pós-graduandos, e demais integrantes da cadeia produtiva da teca no Brasil.

Erich Gomes Schaitza
Chefe-Geral da Embrapa Florestas

Prefácio

Esta obra “Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil” é fruto do esforço cooperativo de 18 instituições públicas e privadas, para atender à grande demanda por informações relacionadas à cadeia produtiva da teca.

Seus 18 capítulos temáticos, elaborados por 47 autores, tiveram por base o acervo de expressivos resultados de pesquisas realizadas no Brasil. Contemplam, em especial, extensas pesquisas bibliográficas, estudos diversos sobre cada tema, bem como observações de experimentos e plantios comerciais no País.

O livro está alinhado com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) e com recomendações explicitadas na obra “The Global Teak Study - Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources”, editada pela International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) e pela International Tropical Timber Organization (ITTO), com suporte da Food and Agriculture Organization (FAO). Esta obra preenche uma lacuna existente na literatura por publicação gratuita, para interessados no cultivo da teca no respectivo idioma local, projetada especialmente para diferentes grupos-alvo (consultores, empresários, produtores, dentre outros) e de forma a facilitar a promoção de capacitações e campanhas de conscientização para vários tipos de produtores de teca, incluindo pequenos proprietários e operadores.

Enaltecemos o excepcional trabalho desenvolvido por todos os autores, com o destaque de suas instituições: Arboreo.net; Associação de Reflorestadores de Mato Grosso (Arefloresta – MT); AssisTech Ltda; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); Forest Stewardship

Council (FSC Brasil); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT); Klabin S.A.; Neocert, Proteca - 4M Agroflorestal; Teak Resources Company (TRC); STCP Engenharia de Projetos Ltda; Universidade de Cuiabá (Unic); Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat); Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes); Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Editores

Sumário

Capítulo 1 Caracterização da espécie *Tectona grandis* L. f. (teca) . . . 14

Capítulo 2 Mercado mundial da madeira de teca . . . 45

Capítulo 3 Histórico da evolução da teca no Brasil e visão de futuro . . . 78

Capítulo 4 Contexto mundial do melhoramento genético da teca . . . 135

Capítulo 5 Polinização controlada em teca, para fins de melhoramento genético . . . 224

Capítulo 6 As melhores regiões para cultivo da teca no Brasil . . . 240

Capítulo 7 Produção de mudas seminais de teca . . . 265

Capítulo 8 Produção de mudas clonais de teca por miniestaquia . . . 294

Capítulo 9 Aspectos silviculturais da teca . . . 327

Capítulo 10 Sistemas de integração com teca . . . 383

Capítulo 11 Geotecnologias aplicadas aos cultivos de teca . . . 427

Capítulo 12 Doenças da teca no Brasil . . . 447

Capítulo 13 Entomofauna associada à teca . . . 480

Capítulo 14 Crescimento e produção de teca: quantificação e influências . . . 510

Capítulo 15 Softwares para o manejo de precisão de teca em monocultivo e em sistema de ILPF . . . 551

Capítulo 16 Planejamento, análise econômica e pesquisa operacional da teca . . . 577

Capítulo 17 Qualidade da madeira da teca . . . 614

Capítulo 18 Certificação florestal FSC® da teca . . . 704



1

Caracterização da espécie *Tectona grandis* L. f. (teca)

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Alisson Moura Santos
Alessandra da Cunha Moraes-Rangel

Introdução

O Gênero *Tectona* pertence ao Reino Plantae, Filo Tracheophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Lamiales, Família Lamiaceae e Subfamília Tectonoideae, sendo anteriormente classificado na Família Verbenaceae (Li et al., 2016; Olmstead, 2017; IUCN, 2020; Li; Zhao et al., 2021). Consiste em um pequeno gênero tropical asiático que compreende espécies arbóreas decíduas, distribuídas principalmente no sul e sudeste da Ásia (Li; Olmstead, 2017; Zhao et al., 2021). Alguns trabalhos fazem referência ao Gênero *Tectona* como composto por quatro espécies: *T. abludens*, *T. grandis* Linn. f., *T. hamiltoniana* Wall. e *T. philippinensis* Benth & Hook. f. (Kaosa-Ard, 1989; Behaghel, 1999; Pardé, 2002). Por outro lado, a espécie *T. abludens* tem sido identificada como uma Subespécie de *T. grandis* (The Plant List, 2021a, 2021b), o que parece concordar com a classificação de Li et al. (2016), Li e Olmstead (2017) e Zhao et al. (2021).

A Subfamília Tectonoideae, na qual estão aglutinadas as espécies de *Tectona*, difere de outras subfamílias da Família Lamiaceae, em razão de suas espécies possuírem flores actinomorfas, cálice e corola com cinco a sete lóbulos, cálices muito aumentados e inflados durante a frutificação e frutos ligeiramente drupáceos, com um endocarpo duro de quatro células, com uma pequena cavidade central entre essas células (Li; Olmstead, 2017).

Para a maioria das espécies do Gênero *Tectona*, o número de trabalhos técnico-científicos publicados é escasso, exceto para *T. grandis*. Algumas breves descrições de *T. hamiltoniana* e *T. philippinensis* são apresentadas em livro com abordagem sobre espécies ameaçadas de extinção publicado pela FAO (1986). Entretanto, aparentemente, não há relatos de *T. abludens*, o que parece corroborar que se trata de uma Subespécie de *T. grandis*.

T. hamiltoniana, segundo FAO (1986), é descrita como uma espécie arbórea de porte moderado, com fuste e diâmetro que podem alcançar 8 m e 70 cm, respectivamente. A sua área de ocorrência natural é restrita a Mianmar, sendo sujeita a forte déficit hídrico (precipitação pluviométrica média anual entre 400-800 mm) e, também, a solos pobres. A madeira é de boa qualidade, apresenta aparência diferenciada e densidade básica superior (0,90-0,95 g cm^{-3}) quando comparada com *T. grandis*, além de resistência natural a fungos e térmitas. A referida espécie não possui importância econômica até o momento, mas a FAO destaca a necessidade de estabelecimento de estratégias para a sua conservação genética, já que se trata de espécie ameaçada de extinção e, também, seu potencial para plantios em regiões de déficit hídrico (FAO, 1986). Entretanto, como se trata de espécie ainda selvagem, a produtividade é bastante inferior àquela de *T. grandis*, o que pode

torná-la atrativa, possivelmente, como fonte de alelos ligados à tolerância à seca, para programas de melhoramento de teca, desde que esses alelos sejam detectados em etapa prévia de caracterização genética do germoplasma dessa espécie (FAO, 1986).

A espécie *T. philippinensis* apresenta pequeno a médio porte, com flores roxas brilhantes, alcançando, em média, 15 m de altura (FAO, 1986; IUCN, 2020). A árvore é facilmente distinguível por sua casca escamosa (IUCN, 2020). As características xerofíticas dessa espécie foram avaliadas e descritas por Hernandez et al. (2016). A sua área de ocorrência natural é bastante restrita, abrangendo algumas ilhas das Filipinas, como Batangas e Ilin, próximas a Mindouro (FAO, 1986; IUCN, 2020). Ocorre, geralmente, ao longo de falésias, de colinas e de cumes de calcário expostos em florestas costeiras dessas ilhas, com altitudes entre 5-200 m e sob estresse hídrico (Caringal et al., 2015; IUCN, 2020). As poucas populações restantes estão ameaçadas pela destruição do hábitat, em razão da conversão de terras para outros usos e, também, pelo uso de sua madeira como lenha, para a produção de carvão, postes e em construções, sendo, por isso, classificada como espécie em perigo crítico de extinção pela Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) (IUCN, 2020). Essa categoria é a de maior risco para espécies selvagens, pois enfrentam risco extremamente elevado de extinção na natureza (IUCN, 2020). Neste cenário, há esforços significativos de conservação ex situ e in situ desta espécie nas Filipinas.

A madeira de *T. philippinensis* é parecida com aquela de *T. hamiltoniana* e, igualmente, de maior densidade que *T. grandis* (FAO, 1986). Há potencial para plantios dessa espécie em regiões com déficit hídrico, em decorrência de suas características xerofíticas (embora também com baixa produtividade de madeira quando comparada a *T. grandis*) ou como fonte de alelos de tolerância à seca para programas de melhoramento genético de teca (FAO, 1986). O incremento nos plantios dessas espécies, sejam com finalidades de conservação genética, recuperação de áreas degradadas ou com finalidades comerciais, é visto como uma medida relevante em suas áreas de ocorrência natural (FAO,1986; IUCN, 2020).

A partir desses relatos, observa-se que *T. grandis* é, sem dúvida, a espécie do Gênero *Tectona* e, tropical de madeira nobre, de maior importância comercial e mais plantada mundialmente, com destaque também no Brasil (Praciak et al., 2013; Kollert; Kleine, 2017; CABI, 2021). Por esses motivos, essa espécie será o objeto principal de abordagem da presente publicação. No presente capítulo são apresentados aspectos como: caracterização botânica, distribuição e condições ambientais em sua região de ocorrência natural, status dos plantios em nível mundial, assim como principais produtos madeireiros e não madeireiros, com foco em usos medicinais.

Caracterização botânica

A espécie *T. grandis*, popularmente conhecida como teca, é composta por árvores de grande porte (Li; Olmstead, 2017), que podem alcançar, em sua área de ocorrência natural, altura total, altura de fuste e diâmetro de 45 m, 20 m e 2,5 m, respectivamente (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013). Essa estimativa significativa de diâmetro pode ocorrer em árvores com sapopemas, que se caracterizam como um tipo de raiz tabular que cerca o tronco (Figura 1) (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013). Em geral, este tipo de raiz aparece em árvores maduras, o que proporciona maior sustentação à árvore. O tronco possui espessura de casca variável, com relatos entre 1,0-1,5 cm, coloração marrom pálida, com sulcos longitudinais rasos nas árvores jovens e rachados e escamosos nas árvores maduras (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013).

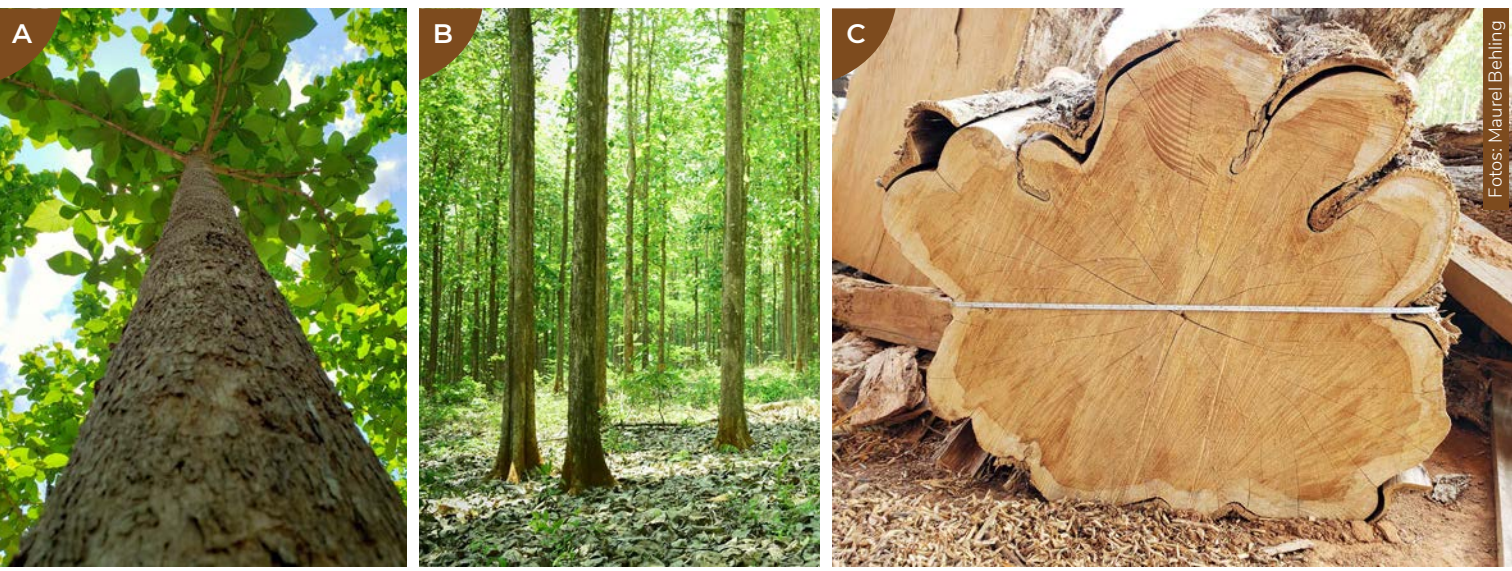


Figura 1. Detalhes da copa (A), do fuste (A, B e C), da casca (A, B e C) e da presença de sapopema na base do fuste (B e C), em árvores de teca.

Segundo Praciak et al. (2013) as árvores dessa espécie são monopodiais e possuem copa aberta. Os ramos são robustos, tetragonais, guardando cicatrizes quadrangulares onde havia as inserções das folhas. As partes jovens dos ramos são densamentetomentosas e furfuráceas, isto é, ásperas e farináceas, respectivamente.

A teca é uma espécie tropical caducifólia ou decídua, com perda total de suas folhas, geralmente, na estação seca do ano (Figuras 2 e 3) (Lamprecht, 1990; Praciak et al., 2013).

As folhas são simples, com limbo foliar inteiro e não dividido, e opostas decussadas[1] (Figura 4) (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013; Li; Olmstead, 2017). Ocasionalmente, podem aparecer três folhas em uma única gema ou, raramente, serem alternas[2] nas mudas seminais (Praciak et al., 2013; Li; Olmstead, 2017).



Foto: Alisson Moura Santos

Figura 2. Plantio comercial de teca, já com perda parcial das folhas no início da estação seca anual, no município de São Miguel do Tocantins, estado de Tocantins.

*1 Filotaxia oposta: duas folhas se inserem no caule ao mesmo nível, mas em oposição, isto é, pecíolo contra pecíolo, ou seja, duas folhas por gema. Na filotaxia oposta cruzada ou decussada, o par de folhas superior se coloca em situação cruzada, em relação ao inferior.
*2 Filotaxia alterna: folhas se colocam em níveis diferentes no caule, ou seja, em cada gema caulinar se insere apenas uma folha.



Figura 3. Plantio comercial de teca, com perda total das folhas na estação seca e carregamento de toras no pós-colheita da madeira, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.



Figura 4. Folhas simples opostas decussadas em muda de teca.

A ocorrência de três tipos de filotaxia foi observada em uma plantação experimental estabelecida no Kerala, Índia (Chacko et al., 2000). Das 4.509 árvores, observadas por 25 meses, a filotaxia oposta decussada foi exibida em 99,33%, a espiralada[3] em 0,60% e a alterna em 0,07% (uma planta). Entretanto, após danos causados por veados, as folhas subsequentes exibiram filotaxias opostas decussadas, independentemente da filotaxia anterior. As plantas opostas decussadas continuaram a ter a mesma filotaxia, mesmo após o dano apical, exceto em um único galho que se desenvolvia próximo ao solo e, no ano posterior, apresentou filotaxia alterna. Na década de 1960, já havia um relato descritivo de duas variantes incomuns da filotaxia da teca, sendo uma com folhas alternadas e outra com espirais de três folhas, as quais foram consideradas como mutantes somáticos (Kedharnath, 1963).

O tamanho das folhas nessa espécie é muito variável, com relatos entre 15-90 cm de comprimento por 6-50 cm de largura (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013). Há ausência de estípulas, as quais são estruturas laminares, geralmente, aos pares, na base das folhas da teca (Louppe, 2005).

A forma do limbo foliar da teca pode ser amplamente elíptica, aguda ou brevemente acuminada (Louppe, 2005; Praciak et al., 2013). A folha elíptica lembra uma elipse, sendo mais larga no meio e o comprimento duas vezes maior que a largura. Na forma aguda, a região apical do limbo termina em ângulo agudo, de maneira abrupta. No formato acuminado, o limbo se estreita, gradualmente, para o ápice, terminando em ponta excessivamente aguda.

As margens das folhas são inteiras, algumas vezes, com recorte do limbo do tipo serrilhado (Praciak et al., 2013). As folhas têm coloração verde-escura e são cartáceas (de textura quebradiça), sendo glabras (sem tricomas) na face superior e glabras pálidas à tomentosas ou, frequentemente, prateadas na parte inferior (Praciak et al., 2013). O número de nervuras laterais nas folhas pode variar de oito a dez pares e, nos pares inferiores, de quatro a seis (Praciak et al., 2013). Essas nervuras se ramificam e vão arqueando ao longo da margem, os nervos transversais são numerosos, paralelos e proeminentes (Praciak et al., 2013). O pecíolo é peludo e pode variar de 2,5-5,0 cm de comprimento (Louppe, 2005).

As flores nas árvores de teca são agrupadas em inflorescências (Figura 5). Cada inflorescência ocupa posição terminal, isto é, localizada no ápice do ramo, tendo como origem a axila das folhas superiores, na parte externa não sombreada da copa da árvore, formando uma grande panícula, com tamanho de aproximadamente 70 cm x 45 cm (Egenti el al., 1978a, 1978b; Louppe, 2005; Praciak et al., 2013; Li; Olmstead, 2017).

[*3] Filotaxia espiralada: folhas se sucedem ao longo do caule como se estivessem inseridas sobre uma linha imaginária ascendente de percurso helicoidal.

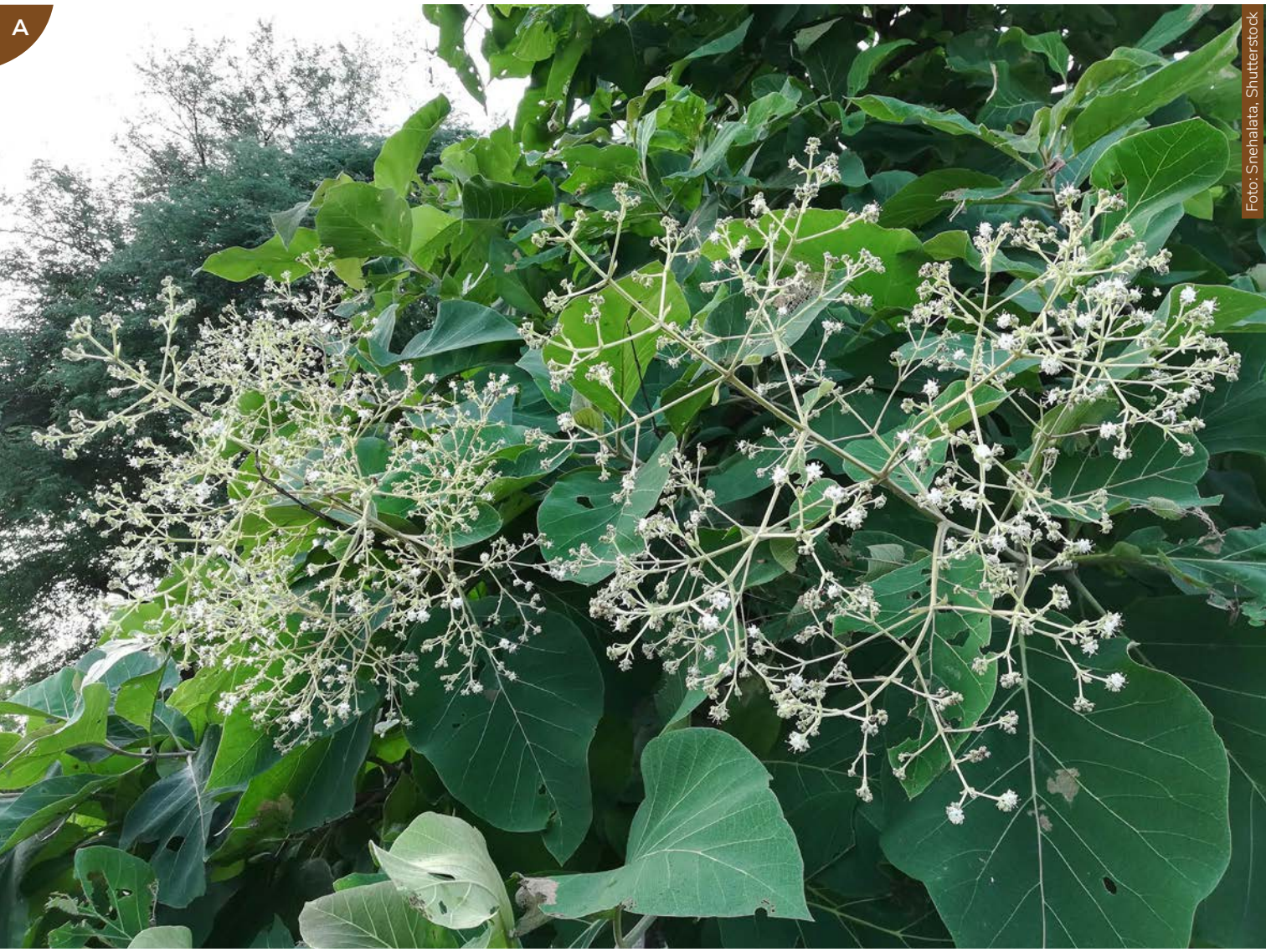








Figura 5. Inflorescências terminais (A), infrutescências com frutos cobertos por cálice persistente e aumentado (B), frutos com cálice em diferentes estádios de maturação e fruto sem cálice (C) e frutos maduros (D) de *Tectona grandis*.

A disposição das inflorescências na árvore de teca é oposta decussada (Praciak et al., 2013). As inflorescências são amplamente ramificadas, sendo essas ramificações (cimos) dispostas em ângulos muito abertos, densamente cinerosas ou tomentosas furfuráceas (ásperas e farináceas) (Praciak et al., 2013). O número de flores por inflorescência pode alcançar a casa de milhares (Nagarajan et al., 1996). Há presença de brácteas foliáceas sésseis abaixo de cada par de cimos (Praciak et al., 2013).

As flores de teca são hermafroditas, actinomorfas (apresentam simetria radial), pequenas, amareladas à esbranquiçadas, com 3-6 mm de comprimento e com pedicelo furfuráceo de 2-3 mm de comprimento (Praciak et al., 2013; Li; Olmstead, 2017). O cálice tem formato de sino ou campânula, com tubo curto, com cinco a sete lóbulos[4] desiguais, que aumentam em tamanho durante a frutificação (Li; Olmstead, 2017). A corola é infundibuliforme (formato de funil), com cinco a sete lóbulos desiguais e com tubo curto (Li; Olmstead, 2017). A metade inferior da corola é indivisa, formando um tubo ao qual estão presos os estames (Egenti, 1978). Os estames variam entre cinco e sete e crescem sobre a pétala (epipétalo), são iguais em comprimento e ligeiramente estendidos (Li; Olmstead, 2017). O pistilo é composto por um ovário com quatro óvulos (Egenti, 1978). O pistilo e os estames têm cerca de 6 mm de comprimento e o diâmetro da corola varia de, aproximadamente, 6-8 mm (Egenti, 1978). As anteras são dorsifixas, ovaladas ou elíptico-oblongas, com tecas paralelas apresentando deiscência em fendas longitudinais (Li; Olmstead, 2017).

Em trabalho conduzido por Egenti (1978), em plantios com 10-15 anos na Nigéria, constatou-se que as flores de teca são fracamente protândricas, com a deiscência das anteras começando aproximadamente 3 h antes do pico da receptividade do estigma. Observou-se também que apenas 1-3% das flores de uma inflorescência florescem a cada dia, sendo que o período para florescimento completo de uma inflorescência pode alcançar de um a dois meses, dependendo do tamanho da panícula. Na descrição da fenologia, foi relatado que às 4 h da manhã, as flores estavam ainda fechadas; às 5 h, já havia o aparecimento de néctar nas flores; às 7 h, as flores abriram; às 8 h, as anteras já estavam abertas; entre 11-13 h, houve pico de recepção do pólen, com corolas completamente abertas, estilos retos, estigmas túrgidos e hidratação dos pólens nos estigmas; às 15 h, as pontas dos estigmas já estavam secas e colapsadas; às 17 h, as anteras colapsaram e, já havia registro de desaparecimento do néctar nas flores e, às 19 h, as corolas já estavam murchas.

A teca é classificada como uma espécie diplóide, com 2n = 36 cromossomos em sua constituição genética (Kaosa-Ard, 1989; Kertadikara; Prat, 1995). É preferencialmente alógama,

[4] Lóbulo: divisão profunda e geralmente arredondada dos órgãos foliáceos ou florais.

sendo possível a ocorrência de autofecundação (Bryndum; Hedegart, 1969; Hedegart, 1973, 1976; Kertadikara; Prat, 1995; Kjaer; Suangtho, 1995; Pattanaik; Shiva, 2017).

A maior parte dos polinizadores da teca são insetos, especialmente, as abelhas (Cameron, 1968; Bryndum; Hedegart, 1969; Egenti, 1974; Mathew et al., 1987; Tangmitcharoen; Owens, 1997a, 1997b; Tangmitcharoen et al., 2006a, 2006b). É sugerido que os insetos polinizadores forrageiam intensivamente uma mesma árvore, resultando em um elevado grau de autofecundações, o que conduz a uma baixa produção de frutos devido à autoincompatibilidade gametofítica e ao baixo padrão de germinação (Tangmitcharoen; Owens, 1997a, 1997b). Assim, a produção de frutos e sementes é muito baixa quando comparada com a abundância de flores comumente produzidas pela teca. A percentagem de frutos, obtidos a partir de polinização aberta foi, em média, 1-3%, sendo de típica ocorrência em plantas hermafroditas que exibem autoincompatibilidade (Hedegart, 1973; Nagarajan et al., 1996; Tangmitcharoen; Owens, 1997a, 1997b).

A extensão da autoincompatibilidade na teca pode variar de 96-100% (Hedegart, 1973) e, geralmente, menos de 1% das flores autopolinizadas se desenvolvem em frutos (Hedegart, 1976). A baixa taxa de frutificação e, também, de germinação revelam a presença de autofecundação, mas também ressaltam a influência significativa do efeito de posição da flor na inflorescência (Nagarajan et al., 1996). Os frutos, formados mais precocemente, são mais saudáveis em relação aqueles desenvolvidos tardiamente (Nagarajan et al., 1996).

Os frutos são drupáceos, com endocarpo rígido, de forma cilíndrica e coloração marrom, com diâmetros de aproximadamente 1 cm, sendo encobertos por cálice persistente e aumentado, com aspecto de feltro (Lamprecht, 1990; Costa et al., 2007; Li et al., 2016; Li; Olmstead, 2017). Os frutos apresentam quatro válvulas, mas, geralmente, produzem de uma a três sementes, sendo a maioria com uma única semente (Lamprecht, 1990). Em geral, a teca frutifica pela primeira vez em idade de 5-6 anos (Lamprecht, 1990). A maturação dos frutos ocorre, em geral, 5-7 meses após a polinização (Egenti, 1978).

As sementes são ovóides, com dimensões médias de 6 mm x 4 mm, sem endosperma (Praciak et al., 2013). O peso de 1.000 sementes pode variar bastante, oscilando entre 330-1.000 g (1.000-3.000 unidades kg^{-1}) (Praciak et al., 2013). As mudas de teca apresentam germinação epígea, isto é, os cotilédones e a gema apical são elevados acima do solo pelo alongamento do hipocótilo (Praciak et al., 2013). Maiores detalhes sobre a produção de mudas e a silvicultura da teca serão apresentados em outros capítulos deste livro.

Distribuição e condições ambientais em sua região de ocorrência natural

O padrão de distribuição natural da teca é descontínuo, com ocorrência nos seguintes países da Ásia: Índia, Laos, Mianmar e Tailândia (Champion; Seth, 1968; Keiding et al., 1986; Kaosa-Ard, 1989; Lamprecht, 1990; Tewari, 1992; Gyi; Tint, 1998; Graudal et al., 1999; Pandey; Brown, 2000; Pardé, 2002; Praciak et al., 2013; Graudal; Moestrup, 2017) (Figura 6).

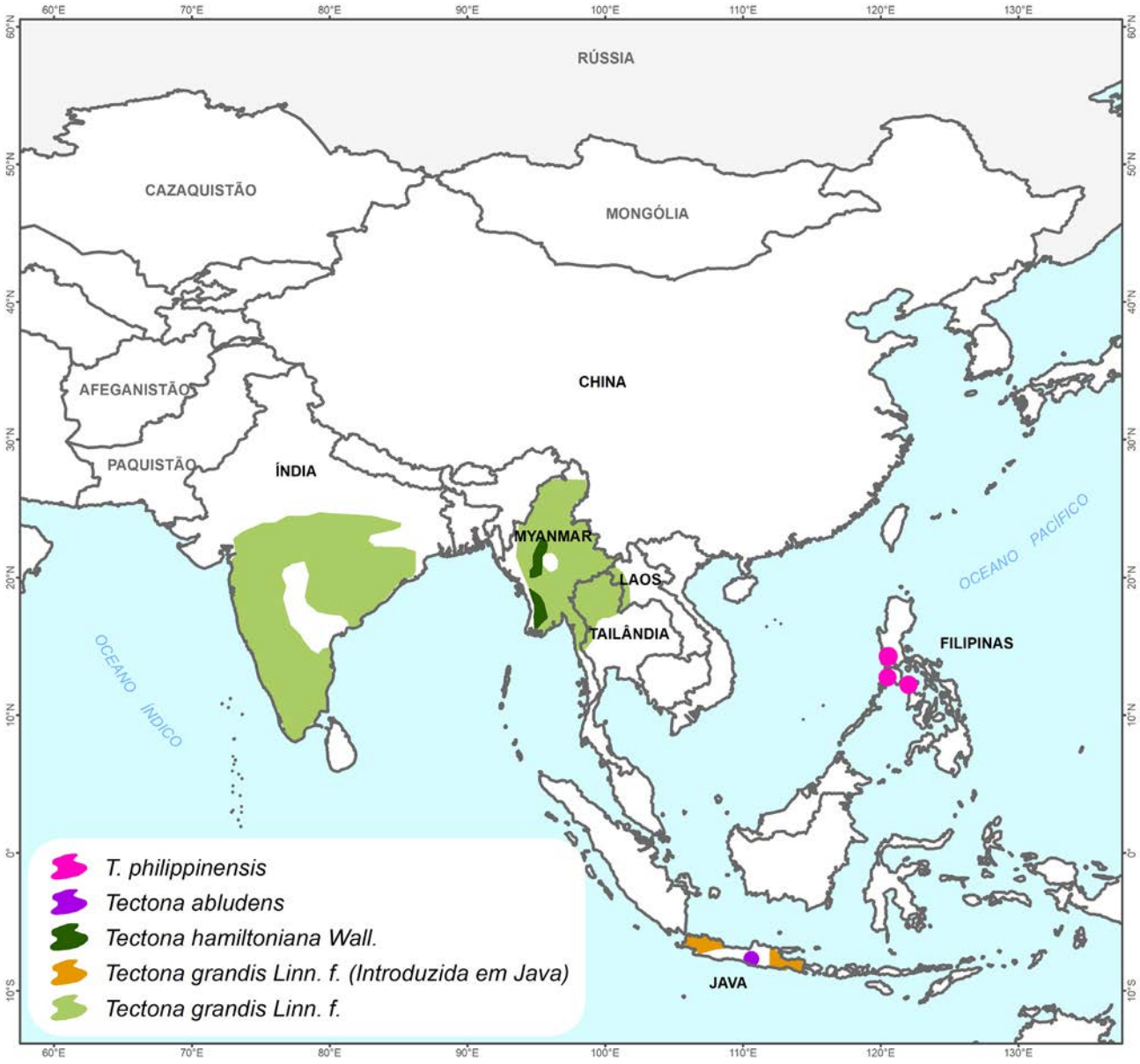


Figura 6. Área de distribuição natural das espécies pertencentes ao gênero *Tectona*.

Fonte: Mapa elaborado com base em Champion e Seth (1968), Keiding et al. (1986), Kaosa-Ard (1989), Lamprecht (1990), Tewari (1992), Gyi e Tint (1998), Graudal et al. (1999), Pandey e Brown (2000), Pardé (2002), Praciak et al. (2013) e Graudal e Moestrup (2017).

O padrão descontínuo de distribuição demonstra que há muitos fatores ambientais controlando a distribuição e o crescimento dessa espécie (Kaosa-Ard, 1989). Dentre estes, os principais fatores citados por Kaosa-Ard (1989) são: precipitação pluviométrica, temperatura, incidência de luz solar e formação geológica (material de origem do solo e condições dos solos).

A teca ocorre desde localidades muito secas, com baixa estimativa de precipitação pluviométrica média anual (500 mm), até localidades muito úmidas (5.000 mm) e, consequentemente, com também elevada umidade relativa do ar (Kaosa-Ard, 1989). Entretanto, cresce bem e alcança maiores dimensões em Clima Tropical quente e úmido, com precipitação pluviométrica média anual de 1.200-2.500 mm (Kaosa-Ard, 1989; Jerez-Rico; Coutinho, 2017). É também reconhecido que, para a produção de madeira de boa qualidade, a teca requer um período de seca de três a cinco meses durante o ano e com ausência de geadas (Salazar; Albertin, 1974; Kaosa-Ard, 1989; Jerez-Rico; Coutinho, 2017).

Em algumas áreas naturais, a temperatura máxima no mês mais quente do ano pode atingir 48 °C e, em outras localidades, a temperatura mínima no mês mais frio do ano pode atingir 2 °C (Kaosa-Ard, 1989; Lamprecht, 1990; Boonsermsuk, 2019). Por outro lado, a espécie cresce melhor, sob plantios comerciais, em ambientes com temperatura anual média entre 22-27 °C (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). A temperatura é um dos principais fatores que afeta a distribuição, o crescimento e o desenvolvimento da teca (Kaosa-Ard, 1989).

As altitudes de ocorrência dessa espécie variam desde o nível do mar até 1.300 m (Salazar; Albertin, 1974; Lamprecht, 1990; Jerez-Rico; Coutinho, 2017), sendo ideal para o seu crescimento até 900 m (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). Nas regiões de ocorrência natural, a espécie cresce, geralmente, em colinas ou terrenos ondulados, embora ocorra, às vezes, também em planícies e várzeas (Salazar; Albertin, 1974). A topografia é importante fator quando afeta a drenagem e, ou profundidade do solo (Salazar; Albertin, 1974), sendo o ideal ser plana ou ondulada para o estabelecimento de plantios comerciais (Jerez-Rico; Coutinho, 2017).

Nas áreas de distribuição natural, a teca se encontra em variadas formações geológicas, como arenito e ardósias terciárias macias, granitos, gnaisse, xistos e calcários (Salazar; Albertin, 1974). Nos locais de ocorrência natural, com os melhores crescimentos da espécie, o pH do solo varia entre 6,5-7,5 (Kaosa-Ard, 1989; Boonsermsuk, 2019). A teca apresenta melhor desenvolvimento em solos profundos (90-200 cm), sem impedimentos físicos, bem drenados, bem arejados e de textura média argilosa (Salazar; Albertin, 1974; Costa;

Resende, 2001; Jerez-Rico; Coutinho, 2017), sendo inadequados os solos compactados, argilosos úmidos, lateríticos, rasos e arenosos secos (Salazar; Albertin, 1974; Jerez-Rico; Coutinho, 2017).

Essa grande variabilidade de condições ambientais contribui para a existência de diferenças entre as procedências de teca, com ocorrência de raças locais de acordo com regiões geográficas (Kaosa-Ard, 1989; Lamprecht, 1990). Há consideráveis diferenças tanto em relação à fisionomia quanto à produção de madeira (crescimento e qualidade) (Kaosa-Ard, 1989; Lamprecht, 1990). As diversas raças se distinguem pela forma e coloração das folhas, pela cor e estrutura da casca e, também, pela forma do tronco (Lamprecht, 1990). As árvores podem apresentar, por exemplo, fenótipo com crescimento reduzido (arbustivo e atrofiado), com perda de dominância apical, sob déficit hídrico (Kaosa-Ard, 1989). Por outro lado, em ambientes com elevada umidade, as árvores se apresentam vigorosas em crescimento (Kaosa-Ard, 1989).

Em alguns bosques nativos de teca, a ocorrência de fogo, rasteiro ou de pequenas proporções, favorece a regeneração natural, pois contribui para eliminar a competição, a qual prejudica o crescimento de novas plântulas (Salazar; Albertin, 1974).

Plantios de teca em escala mundial

Há plantios de teca estabelecidos dentro e fora de sua região de ocorrência natural, o que demonstra a boa adaptação da espécie às várias regiões tropicais do Mundo (Figura 7). Existem relatos de plantios de teca na África; na América Central, do Sul e do Norte (Neste último, restritos às áreas com condições ambientais mais próximas das tropicais); na Ásia e, também, na Oceania (Behaghel, 1999; CABI, 2021; Zhao et al., 2021). Informações sobre a silvicultura, crescimento e produção de madeira de teca, dentre outros aspectos, são apresentados em outros capítulos deste livro.

A teca tem sido plantada, tradicionalmente, em maior escala, em sistema de monocultivo no Brasil (Figura 8) e, também, em várias outras partes do mundo. Entretanto, há iniciativas quanto ao seu uso também em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil (Figura 9), embora apresente a desvantagem de perder as folhas na época de estiagem, período mais quente do ano e de maior estresse ao gado sob condições de Cerrado. Informações sobre esse tema são apresentadas no capítulo deste livro que aborda sistemas de integração com teca.

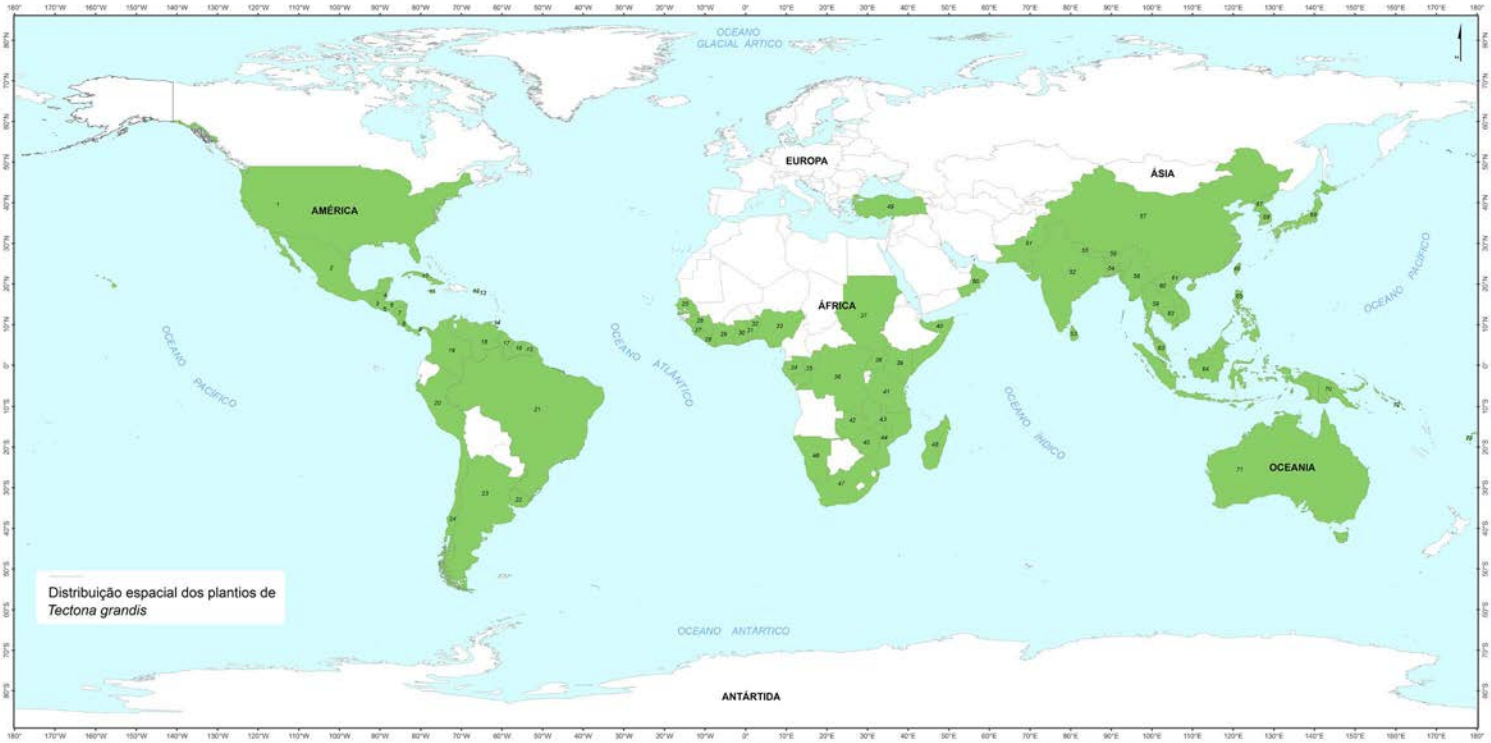


Figura 7. Países com plantios comerciais de teca.

**Os plantios de T. grandis não são necessariamente realizados em toda a região de abrangência territorial de cada país, mas sim em sítios com condições ambientais condizentes com aqueles exigidos pela espécie.*

Fonte: Base de dados da CABI (2021).

Código	País	Código	País	Código	País
1	Estados Unidos	26	Guiné	51	Paquistão
2	México	27	Serra Leoa	52	Índia
3	Guatemala	28	Libéria	53	Sri Lanka
4	Belize	29	Costa do Marfim	54	Bangladesh
5	El Salvador	30	Gana	55	Nepal
6	Honduras	31	Togo	56	Butão
7	Nicarágua	32	Benin	57	China
8	Costa Rica	33	Nigéria	58	Mianmar (antiga Birmânia)
9	Panamá	34	Gabão	59	Tailândia
10	Cuba	35	Congo	60	Laos
11	Jamaica	36	República Democrática do Congo	61	Vietnã
12	Porto Rico	37	Sudão	62	Camboja
13	Ilhas Virgens	38	Uganda	63	Malásia
14	Trinidade e Tobago	39	Quênia	64	Indonésia
15	Guiana Francesa	40	Somália	65	Filipinas
16	Suriname	41	Tanzânia	66	Taiwan
17	Guiana	42	Zâmbia	67	Coreia do Norte
18	Venezuela	43	Malawi	68	Coreia do Sul
19	Colômbia	44	Moçambique	69	Japan
20	Peru	45	Zimbábue	70	Papua Nova Guiné
21	Brasil	46	Namíbia	71	Austrália
22	Uruguai	47	África do Sul	72	Ilhas Salomão
23	Argentina	48	Madagascar	73	Fiji
24	Chile	49	Turquia	-	-
25	Senegal	50	Omã	-	-



Figura 8. Monocultivo comercial de teca, estado de Mato Grosso.



Figura 9. Sistema silvipastoril com árvores de teca na estação chuvosa, no município de Nova Canaã do Norte, estado de Mato Grosso.

Produtos madeireiros

A madeira de teca, muito valorizada no mercado internacional, em decorrência de suas propriedades tecnológicas excepcionais, tem seus faqueados, laminados (sofisticados compensados e painéis) e produtos serrados usados em: mobiliários; produtos de maior valor agregado (PMVAs) como decks, lambris, janelas, pisos e portas usados na construção civil e naval; dentre outros usos (Kollert; Kleine, 2017). Nas Figuras 10 a 15 são apresentados detalhes da tora, da madeira serrada, de painéis e de mobiliários rústicos feitos a partir da madeira da teca de curta rotação (desbastes). Uma abordagem minuciosa sobre as propriedades tecnológicas da madeira da teca é apresentada em capítulo específico desta publicação.



Figura 10. Detalhe da tora e da madeira de teca após corte de plantio comercial.



Foto: Maurel Behling

Figura 11. Pilha de toras de madeira de teca no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.



Fotos: Maurel Behling

Figura 12. Diferentes tipos de produtos de madeira serrada de teca processados no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.



Figura 13. Painéis em estilo mosaico de madeira de teca produzidos no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.







Figura 14. Porta (A), deck (B) e piso (C) fabricados a partir de madeira de teca.







Figura 15. Mobiliários rústicos de madeira de teca procedentes de plantio de curta rotação.

Produtos florestais não madeireiros: usos medicinais

Os vegetais possuem em sua constituição vários compostos químicos provenientes do metabolismo secundário, que conferem algumas funcionalidades, associadas, em especial, ao crescimento, ao desenvolvimento, à reprodução e, também, desempenham um importante papel em seu sistema de proteção, seja contra fungos, bactérias, insetos, dentre outros (Gobbo-Neto; Lopes, 2007; Vizzotto et al., 2010; Taiz; Zeiger, 2013). Esses compostos químicos têm sido a base para uso na medicina tradicional, desde os primórdios da humanidade. Entretanto, suas aplicações biológicas vêm sendo incentivadas também, ao longo dos anos, na agricultura e nas indústrias: alimentícias, de cosméticos e farmacêuticas (Bajaj; Ishimaru, 1999). O uso de fitoterápicos com finalidade profilática, curativa ou paliativa passou a ser oficialmente reconhecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1978, quando o órgão recomendou a difusão mundial dos conhecimentos necessários para o seu uso. Certamente, qualquer uso medicinal de algum produto deve ter aval de um médico.

O uso medicinal da teca é tradicional e bem difundido no Togo (Diallo et al., 2008), na milenar medicina Ayurveda na Índia (Jagetia; Baliga, 2004; Goswami et al., 2009) e, também, em outras regiões na sua área de ocorrência natural (Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b). Há relatos de usos medicinais de extratos obtidos de várias partes da árvore de teca como: casca, flores, folhas, madeira, raízes e sementes, para curar as mais variadas enfermidades (Khera; Bhargava, 2013; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b).

Em decorrência do amplo uso popular medicinal da teca em seus países de ocorrência natural, vários estudos têm sido conduzidos como forma de melhor compreender as suas propriedades farmacológicas e, também, relacionados ao isolamento de seus compostos químicos (Bachheti et al., 2012; Koffi et al., 2015; Komlaga et al., 2016; Oke; Ogunjini, 2016; Vastrad; Goudar, 2016; Suarez et al., 2019). Goswami et al. (2009), Nidavani e Mahalakshmi (2014a, 2014b) e Vyas et al. (2019) apresentam um aprofundado trabalho de revisão acerca das propriedades fitoquímicas e do potencial terapêutico da teca. Além desses, em vários outros estudos consultados, as seguintes atividades farmacológicas têm sido detectadas:

a) Antialérgica (Goswami et al., 2010).

b) Analgésica (Asif, 2011; Ramachandran et al., 2011b; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b; Giri; Varma, 2015; Vyas et al., 2019).

c) Antianêmica (Criswell et al., 2000; Aboudoulatif et al., 2008; Diallo et al., 2008; Goswami et al., 2009; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b).

d) Antibacteriana (Cai et al., 2000; Darout; Skaug, 2001; Srinivasan et al., 2001; Neamatallah et al., 2005; Srivastava; Shalini, 2008; Goswami et al., 2009; Purushothamet al., 2010a, 2010b; Nayeem; Karvetar, 2011; Khera; Bhargava, 2013; Purushotham; Sankar, 2013; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a; Devadiga et al., 2015; Oyebanji; Ololade, 2017).

e) Antifúngica (Shalini, 2007; Goswami et al., 2009; Nayeem; Karvetar, 2011; Niamké et al., 2012; Khera; Bhargava, 2013; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b).

f) Anti-helmíntica (Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b).

g) Anti-inflamatória (Goswami et al., 2010; Asif, 2011; Ramachandran et al., 2011b; Khera; Bhargava, 2013; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b; Parihaar et al., 2014; Giri; Varma, 2015; Vyas et al., 2019).

h) Antioxidante (Khana; Mlungwanab, 1999; Mahesh; Jayakumaran, 2010; Nayeem; Karvetar, 2011; Ramachandran et al., 2011a; Khera; Bhargava, 2013; Ghareeb et al., 2014; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b; Koffi et al., 2015; Vyas et al., 2019).

i) Antipirética (Khera; Bhargava, 2013; Vyas et al., 2019).

j) Antiplasmódica/antimalárica (Kopa et al., 2014; Komlaga et al., 2016; Vyas et al., 2019).

k) Antiviral (Goswami et al., 2009).

l) Cicatrização de feridas (queimaduras, úlceras e reações adversas da pele) (Goswami et al., 2009; Alam et al., 2011; Chomiczewska-Skóra, 2011; Varma; Giri, 2013; Vyas et al., 2019).

m) Citotóxica (uso oncológico) (Khana; Mlungwanab, 1999; Goswami et al., 2009; Jayakumaran, 2010; Mahalakshmi, 2014a, 2014b; Nidavani; Kopa et al., 2014; Furtado et al., 2017).

n) Diurética (Ramankutty et al., 1995; Kore et al., 2011; Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b).

o) Gastroprotetiva (Nidavani; Mahalakshmi, 2014a, 2014b; Parihaar et al., 2014).

p) Tratamento da queda e do crescimento dos cabelos (tônicos capilares) (Ramankutty et al., 1995; Jaybhaye et al., 2010; Nidavani; Mahalakshmi, 2014b).

q) Terapia contra leishmaniose (Goswami et al., 2009).

r) Terapia ou prevenção de diabetes (Varma; Jaybhaye, 2010; Bhatia et al., 2011; Ramachandran et al., 2011a; Nidavani; Mahalakshmi, 2014b; Parihaar et al., 2014; Vyas et al., 2019).

Segundo Vyas et al. (2019) já foram isolados, aproximadamente, 92 componentes químicos de diferentes partes da árvore de teca. Alguns dos constituintes químicos, com usos farmacológicos, relatados como presentes em uma ou em diferentes partes da árvore da teca são: ácidos graxos, alcalóides, antraquinonas, carboidratos, esteróides, flavonóides, glicosídeos, proteínas, resinas, saponinas, taninos e terpenóides (Goswami et al., 2009; Asif, 2011; Oke, Ogunjimi, 2016; Vastrad; Giridhar, 2016). Dentre esses componentes encontrados, destacam-se os compostos quinônicos, gerados na fração de extrativos da madeira que, por sinal, não são muito desejáveis nos segmentos de celulose e carvão (Leonardo et al., 2015). Entretanto, vários autores têm associado a resistência natural da madeira de teca aos fungos, cupins, dentre outros insetos, à presença desses compostos quinônicos (Rudman et al., 1958; Leonardo, et al., 2015).

Aparentemente, não há exploração comercial desses componentes, sendo ainda restritos ao uso medicinal popular (Nidavani; Mahalakshmi, 2014b). Entretanto, no âmbito florestal, a participação da indústria química, seja ela farmacêutica, de cosméticos ou de elementos funcionais/medicinais, terá papel fundamental em proporcionar transversalidade no uso de produtos, subprodutos e até dos resíduos. O desenvolvimento de novos processos, inclusive de nanotecnologia, pode possibilitar a abertura de várias oportunidades para agregação de valor aos produtos florestais, inclusive da teca.

Considerações finais

T. grandis é a espécie tropical cuja madeira nobre é a mais plantada mundialmente. As informações apresentadas neste capítulo permitem um conhecimento aprofundado a respeito da caracterização botânica, da distribuição e das condições ambientais nas áreas de ocorrência natural da teca. Esses aspectos são especialmente importantes para todos aqueles que tenham interesse em realizar ou fomentar pesquisas e plantios comerciais, além de promover o adequado balizamento da cadeia produtiva de teca.

Observa-se que as condições ambientais, que permitem um bom desenvolvimento das árvores nativas de teca, são condizentes com as condições ambientais apresentadas por diversas localidades/regiões brasileiras e, também, de diversas partes tropicais no mundo, o que tem contribuído para a expansão dos seus plantios comerciais, como importante meio de geração de renda aos produtores rurais e empresários.

Os usos dos produtos madeireiros e não madeireiros têm potencial para a significativa ampliação de consumo pelo mercado mundial.

Referências

ABOUDOULATIF, D.; MESSANVI, G.; AHOEFA, V.; KWASHIE, E.; KODJO, A.; AMEGNONA, A.; ANGE, A. A.; COMLA, S.; KOFFI, A. Effect of *Tectona grandis* on phenylhydrazine-induced anaemia in rats. **Fitoterapia**, v. 79, n. 5, p. 332-336, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.02.005.

ALAM, G.; SINGH, M. P.; SINGH, A. Wound healing potential of some medicinal plants. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 9, n. 1, p. 136-145, 2011.

ASIF, M. In vivo analgesic and antiinflammatory effects of *Tectona grandis* Linn. f. stem bark extracts. **Malaysian Journal of Pharmaceutical Sciences,** v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011.

BACHHETI, R. K.; SHARMA, A.; RAI, I.; JOSHI, A.; MAMGAIN, R. Fatty acid composition and elemental analysis of seed oil of *Tectona grandis* collected from Dehradun, Uttarakhand, India. **International Journal of ChemTech Research**, v. 4, n. 3, p. 1119-1123, 2012.

BAJAJ, Y. P. S.; ISHIMARU, K. Genetic transformation of medicinal plants. In: BAJAJ, Y. P. S. (ed.). **Transgenic medicinal plants**. Berlin: Springer, 1999. p. 1-29. (Springer. Biotechnology in agriculture and forestry, 45). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-58439-8_1.

BEHAGHEL, I. Deuxième partie la filière du teck. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 262, n. 4, p. 1-18, 1999.

BHATIA, V.; SRIVASTAVA, S. P.; SRIVASTAVA, R.; MISHRA, A.; NARENDER, T.; MAURYA, R.; SRIVASTAVA, A. K. Antihyperglycaemic and aldose reductase inhibitory potential of *Acacia catechu* hard wood and *Tectona grandis* leaves. **Medicinal Chemistry Research**, v. 20, p. 1724-1731, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s00044-010-9473-4.

BOONSERMSUK, S. ITTO Project: Enhancing conservation and sustainable management of teak forests and legal and sustainable wood supply chains in the Greater Mekong Sub-region (PP-A/54-331). In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019.

BRYNDUM, K.; HEDEGART, T. Pollination of teak (*Tectona grandis* Linn f.). **Silvae Genetica**, v. 18, p. 77-80, 1969.

CABI. Centre for Agriculture and Bioscience International. ***Tectona grandis* (teak)**. Wallingford, 2021. Disponível em: https://www.cabi.org/ISC/datasheet/52899. Acesso em: 14 mar. 2021.

CAI, L.; WEI, G. X.; VAN DER BIJL, P.; WU, C. D. Namibian chewing stick, *Dispyros lycioides*, contains antibacterial compounds against oral pathogens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 3, p. 909-914, 2000. DOI: https://doi.org/10.1021/jf9909914.

CAMERON, A. L. Forest tree improvement in New Guinea. In: COMM. FOR CONFERENCE, 9., 1968, New Delhi. **Proceeding** [...]. New Delhi, 1968.

CARINGAL, A. M.; BUOT, I. E. J. R.; ARAGONES, E. G. J. R. Population and reproductive phenology of the Philippine teak (*Tectona philippinensis* Benth. & Hook.f.) in Lobo Coast of Verde Island Passage, Batangas, Philippines. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 98, n. 3, p. 312-322, 2015.

CHACKO, K. C.; KEDHARNATH, S.; JOHN, C. H. Incidence of phyllotaxy variants in teak (*Tectona grandis* L. f.). **The Indian Forester**, v. 126, n. 3, p. 314-316, 2000.

CHAMPION, H. G.; SETH, S. K. **A revised survey of forests types of India**. India: Government of India, Press Nasik, 1968.

CHOMICZEWSKA-SKÓRA, D. Adverse cutaneous reactions induced by exposure to woods. **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 12, p. 1341-1348, 2011.

COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de espécies alternativas para o Centro-Oeste: teca. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 153-167. (Embrapa Florestas. Documentos, 62). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102990/1/MelhoramentoEspeciesAlternativas.pdf. Acesso em: 17 jul. 2021.

COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V. de; MORAES e SILVA, V. S. de. Experimentação e seleção no melhoramento genético de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 76-92, 2007.

CRISWELL, K.; SULHANEN, A.; HOCHBAUM, A. F.; BLEAVINS, M. R. Effects of phenylhydrazine or phlebotomy on peripheral blood, bone marrow and erythropoietin in Wistar rats. **Journal of Applied Toxicology**, v. 20, n. 1, p. 25-29, 2000. DOI: https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1263(200001/02)20:1<25::aid-jat624>3.0.co;2-7.

DAROUT, I. A.; SKAUG, N. Chewing sticks: timeless natural toothbrushes for oral cleansing. **Journal of Periodontal Research**, v. 36, n. 5, p. 275-284, 2001. DOI: https://doi.org/10.1034/j.1600-0765.2001.360502.x.

DEVADIGA, A.; SHETTY, K. V.; SAIDUTTA, M. B. Timber industry waste-teak (*Tectona grandis* Linn. f.) leaf extract mediated synthesis of antibacterial silver nanoparticles. **International Nano Letters**, v. 5, p. 205-214, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s40089-015-0157-4.

DIALLO, A.; GBEASSOR, M.; VOVOR, A.; EKLU-GADEGBEKU, K.; AKLIKOKOU, K.; AGBONON, A.; ABENA, A. A.; SOUZA, C. de.; AKPAGANA, K. Effect of *Tectona grandis* on phenylhydrazine-induced anaemia in rats. **Fitoterapia**, v. 79, n. 5, p. 332-336, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.02.005.

EGENTI, L. C. Pollen and stigma viability in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 27, n. 1, p. 29-32, 1978.

EGENTI, L. C. **Preliminary studies on pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.)**. Nigeria: Federal Department of Forest Research, 1974. (Federal Department of Forest Research. Research paper forest series, 29).

FAO. Food and Agriculture of United Nations. Forestry Department. Forest Resources Division. **Databook on endangered tree and shrub species and provenances**. Rome, 1986. 524 p. (FAO. Forestry paper, 77). Disponível em: http://www.fao.org/3/ap459e/ap459e.pdf. Acesso: 17 mar. 2021.

FURTADO, C. de M.; FARIA, F. S. E. D. V. de; AZEVEDO, R. B.; PY-DANIEL. K.; CAMARA, A. L. dos S.; SILVA, J. R. da; OLIVEIRA, E. de H.; RODRIGUEZ, A. F. R.; DEGTEREV, I. A. *Tectona grandis* leaf extract, free and associated with nanoemulsions, as a possible photosensitizer of mouse melanoma B16 cell. **Journal of Photochemistry and Photobiology B**: Biology, v. 167, p. 242-248, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.01.004.

GHAREEB, M. A.; SHOEB, H. A.; MADKOUR, H. M. F.; REFAEY, L. A. G.; MOHAMED, M. A. M.; SAAD, A. M. Antioxidant, and cytotoxic activities of *Tectona grandis* Linn. f. leaves. **International Journal of Phytopharmacology**, v. 5, n. 2, p. 143-157, 2014.

GIRI, S. P.; VARMA, S. B. Analgesic and anti-inflammatory activity of *Tectona grandis* Linn. f. stem extract. **Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology**, v. 26, n. 5, p. 479-484, 2015. DOI: https://doi.org/10.1515/jbcpp-2014-0043.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026.

GOSWAMI, D. V.; NIRMAL, S. A.; PATIL, M. J.; DIGHE, N. S.; LAWARE, R. B.; PATTAN, S. R. An overview of *Tectona grandis*: chemistry and pharmacological profile. **Journal Pharmacognosy Reviews**, v. 3, n. 5, p. 181-185, 2009.

GOSWAMI, D. V.; SONAWANE, L. L.; NIRMAL S. A.; PATIL M. J. Evaluation of antiasthmatic activity of *Tectona grandis* Linn. f. bark. **International Journal Pharmatical Science Research**, v. 1, n. 1, p. 10-17, 2010. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4690.9207.

GRAUDAL, L.; KJAER, E. D.; SUANGTHO, V.; SAARDAVUT, P.; KAOSA-ARD, A. **Conservation of genetic resources of teak (*Tectona grandis*) in Thailand**. Humlebaek, Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1999. 36 p. (Danida Forest Seed Centre. Technical note, 52).

GRAUDAL, L.; MOESTRUP, S. Genetic resources conservation and, management. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. p. 19-29. (IUFRO. IUFRO world series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

GYI, K. K.; TINT, K. Management status of natural teak forests. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK: TEAK FOR THE FUTURE, 2., 1995, Yangon, Myanmar. **Proceeding** [...]. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 1998. p. 27-48.

HEDEGART, T. Breeding systems, variation, and genetic improvement of teak (*Tectona grandis* L. f.). In: BURLEY, J.; STYLES, B. T. (ed.). **Tropical trees, variation, breeding and conservation**. New York: Academic Press, 1976. p. 109-121. (Academic Press. Linnean Society Symposium Series, 2).

HEDEGART, T. Pollination of teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 22, p. 124-128, 1973.

HERNANDEZ, J. O.; MALABRIGO, J. R. P. L.; QUIMADO, M. O.; MALDIA, L. S. J.; FERNANDO, E. S. Xerophytic characteristics of *Tectona philippinensis* Benth. & Hook. f. **Philippine Journal of Science**, n. 145, v. 3, p. 259-269, 2016.

IUCN. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. **The IUCN Red List of Threatened Species 2020**. Cambridge, 2020. Disponível em: https://www.iucnredlist.org/species/32123/126992854. Acesso em: 16 mar. 2021.

JAGETIA, G. C.; BALIGA, M. S. The evaluation of nitric oxide scavenging activity of certain Indian medicinal plants in vitro: a preliminary study. **Journal of Medicinal Food**, v. 7, n. 3, p. 343-348, 2004. DOI: https://doi.org/10.1089/jmf.2004.7.343.

JAYBHAYE, D.; VARMA, S.; GAGNE, N.; BONDE, V.; GITE, A.; BHOSLE, D. Effect of *Tectona grandis* Linn. f. seeds on hair growth activity of albino mice. I**nternational Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy**, v. 1, n. 4, p. 211-215, 2010. DOI: https://doi.org/10.4103/0974-7788.76783.

JEREZ-RICO, M.; COUTINHO, S. de A. Planted teak forests: establishment and management of planted teak forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.) **The global teak study**: analysis, evaluation and future potential of teak resources. Vienna: IUFRO, 2017. p. 49-63. (IUFRO. IUFRO world series, v. 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* L. f.): its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 19, p. 55-74, 1989.

KEDHARNATH, S. Phyllotaxy variants in teak. **The Indian Forester**, v. 89, n. 2, p. 125, 1963.

KEIDING, H., WELLENDORF, H.; LAURIDSEN, E. B. **Evaluation of an international series of teak provenance trials. Denmark**: Danida Forest Seed Centre, 1986. 91 p. Disponível em: https://static-curis.ku.dk/portal/files/35116262/Teak_evaluation_1.pdf. Acesso em: 16 jul. 2021.

KERTADIKARA, A. W. S.; PRAT, D. Genetic struture and mating system in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 44, n. 2-3, p. 104-110, 1995.

KHANA, R. M.; MLUNGWANAB, S. M. 5-Hydroxylapachol: a cytotoxic agent from *Tectona grandis*. **Phytochemistry**, v. 50, n. 3, p. 439-442, 1999. DOI: https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00478-6.

KHERA, N.; BHARGAVA, S. Phytochemical, and pharmacological evaluation of *Tectona grandis* Linn. f. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 5, n. 3, p. 923-927, 2013.

KJAER, E. D.; SUANGTHO, V. Outcrossing rate of teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 44, n. 4, p. 175-177, 1995.

KOFFI, E. N.; MEUDEC, E.; ADJÉ, F. A.; LOZANO, P. R.; LOZANO, Y. F.; BEKRO, Y. A. Effect of reverse osmosis concentration coupled with drying processes on polyphenols and antioxidant activity obtained from *Tectona grandis* leaf aqueous extracts. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 2, p. 54-59, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.03.001.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO world series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KOMLAGA, G.; COJEAN, S.; DICKSON, R. A.; BENIDDIR, M. A.; SUYYAGH-ALBOUZ, S.; MENSAH, M. L. K.; AGYARE, C.; CHAMPY, P.; LOISEAU, P. M. Antiplasmodial activity of selected medicinal plants used to treat malaria in Ghana. **Parasitology Research**, v. 115, n. 8, p. 3185-3195, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s00436-016-5080-8.

KOPA, T. K.; TCHINDA, A. T.; TALA, M. F.; ZOFOU, D.; JUMBAM, R.; WABO, H. K.; TITANJI, V. P. K.; FRÉDÉRICH, M.; TAN, N. H.; TANE, P. Antiplasmodial anthraquinones and hemisynthetic derivatives from the leaves of *Tectona grandis* (Verbenaceae). **Phytochemistry Letters**, v. 8, p. 41-45, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.phytol.2014.01.010.

KORE, K. J.; JADHAV, P. J.; SHETE, R. V.; SHETTY, S. C. Diuretic activity of *Tectona grandis* leaves aqueous extract in wistar rats. **International Journal of Pharmaceutical Research and Development**, v. 3, n. 7, p. 141-146, 2011.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

LEONARDO, F. V. da S.; ROCHA, H. F.; MENDOZA, Z. M. dos S. H. de. Compostos químicos em teca. **Pesquisa Florestal Brasileira,** v. 35, p. 315-322, 2015. DOI: https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.816.

LI, B.; CANTINO, P. D.; OLMSTEAD, R. G.; BRAMLEY, G. L. C.; XIANG, C. L.; MA, Z. H.; TAN, Y. H.; ZHANG, D. X. A large-scale chloroplast phylogeny of the Lamiaceae sheds new light on its subfamilial classification. **Nature**: Scientific Reports, v. 6, article number 34343, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/srep34343.

LI, B.; OLMSTEAD, R. G. Two new subfamilies in Lamiaceae. **Phytotaxa**, v. 313, n. 2, p. 222-226, 2017. DOI: https://doi.org/10.11646/phytotaxa.313.2.9.

LOUPPE, D. Tectona grandis L. f. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (ed.). **Plant resources of Tropical Africa**: ressources végétales de l'Afrique tropicale. Wageningen: PROTA Foundation, 2005. Disponível em: https://www.prota4u.org/database/protav8.asp?p=Tectona+grandis+L.f. Acesso em: 22 abr. 2020.

MAHESH, S. K.; JAYAKUMARAN, N. A. Antibacterial, cytotoxic and antioxidant potential of different extracts from leaf, bark, and wood of *Tectona grandis*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research**, v. 2, n. 2, p. 155-158, 2010.

MATHEW, G.; KOSHY, M. P.; MOHANADAS, K. Preliminary studies on insect visitors to teak (*Tectona grandis* (Linn f.)) inflorescence in Kerala, India. **The Indian Forester**, v. 113, p. 61-64, 1987.

NAGARAJAN, B., M.; VARGHESE, A.; NICODEMUS, K. R.; SASHIDHARAN, S. S. R.; BENNET; KANNAN, C. S. Reproductive biology of teak and its implications in tree improvement. In: DIETERS, M. J.; MATHESON, A. C.; NIKLES, D. G.; HARWOOD, C. E.; WALKER, S. M. (ed.). **Tree improvement for sustainable tropical forestry**. Caloundra, Australia: Proceeding QFRI-IUFRO CONFERENCE, 1996. p. 244-248.

NAYEEM, N.; KARVEKAR, M. D. Antimicrobial and antioxidant properties of the isolated compounds from the methanolic extract from the leaves of *Tectona grandis*. **Journal of Basic and Clinical Pharmacy**, v. 2, n. 2, p. 163-165, 2011.

NEAMATALLAH, A.; YAN, L.; DEWAR, S. J.; AUSTIN, B. An extract from teak (*Tectona grandis*) bark inhibited *Listeria* monocytogenes and methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 41, n. 1, p. 94-96, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01680.x.

NIAMKÉ, F. B.; AMUSANT, N.; STIEN, D.; CHAIX, G.; ADJUMANE, Y. V.; KADIO, A.; LEMENAGER, N.; GOH, D.; ADIMA, A. A.; KATI-COULIBALY, S.; JAY-ALLEMAND, C. J. 4',5'-Dihydroxy-epiisocatalponol, a new naphthoquinone from *Tectona grandis* L. f. heartwood, and fungicidal activity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 74, n. 1, p. 93-98, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.03.010.

NIDAVANI, R. B.; MAHALAKSHMI, A. M. Pharmacology of *Tectona grandis* Linn f.: short review. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**, v. 6, n. 1, p. 86-90, 2014a.

NIDAVANI, R. B.; MAHALAKSHMI, A. M. Teak (*Tectona grandis* Linn f.): a renowned timber plant with potential medicinal values. **International Journal Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 6, n. 1, p. 48-54, 2014b.

OKE, D. G.; OGUNJIMI, B. E. Comparative analysis of medicinal properties of the bark and leaves of *Tectona grandis*. **Chemical Science Review and Letters**, v. 5, n. 17, p. 27-30, 2016.

OYEBANJI, J. A.; OLOLADE, Z. S. Fast pyrolysis of *Tectona grandis* wood for BioOil: characterization and bactericidal potentials. **Global Journal of Research in Engineering (A)**, v. 17, n. 1, p. 30-37, 2017.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasylva**, v. 201, n. 51, p. 3-13, 2000.

PARDÉ, J. The teck: its tropicals forests and plantations. **Revue Forestiere Francaise**, v. 54, n. 3, p. 253-258, 2002.

PARIHAAR, R. S.; BARGALI, K.; BARGALI, S. S. Diversity and uses of ethno-medicinal plants associated with traditional agroforestry systems in Kumaun Himalaya. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 84, n. 12, p. 1470-1476, 2014.

PATTANAIK, S.; SHIVA, K. Mating system and gene flow analysis within a clonal seed orchard of *Tectona grandis* L. f. using microsatellite markers. **The Indian Forester**, v. 143, n. 9, p. 894-900, 2017.

PRACIAK, A.; PASIECZNIK, N.; SHEIL, D.; VAN HEIST, M.; SASSEN, M.; CORREIA, C. S.; DIXON, C.; FYSON, G.; RUSHFORD, K.; TEELING, C. (ed.). **The CABI encyclopedia of forest trees**. Oxfordshire: CABI, 2013. 523 p.

PURUSHOTHAM, K. G.; ARUN, P.; JAYARANI, J. J.; KUMARI, R. V. Screening of four Indian medicinal plants for in vitro antimycobacterial activity. **The Bioscan**, v. 5, n. 1, p. 101-103, 2010a.

PURUSHOTHAM, K. G.; ARUN, P.; JAYARANI, J. J.; VASNTHAKUMARI, R.; SANKAR, L.; REDDY, B. R. Synergistic in vitro antibacterial activity of *Tectona grandis* leaves with tetracycline. **International Journal of PharmTech Research**, v. 2, n. 1, p. 519-523, 2010b.

PURUSHOTHAM, K. G.; SANKAR, L. Screening of in vitro antibacterial activityof *Tectona grandis* on burn pathogens. **International Journal Pharmacy and Biological Science**, v. 3, n. 3, p. 488-492, 2013.

RAMACHANDRAN, S.; RAJASEKARAN, A.; KUMAR, K. T. M. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant potential of metanol extract of *Tectona grandis* flowers in streptozotocin induced diabetic rats. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 4, n. 8, p. 624-631, 2011a.

RAMACHANDRAN, S.; RAJINIKANTH, B.; RAJASEKARAN, A.; KUMAR, K. T. M. Evaluation of anti-inflammatory and analgesic potential of methanol extract of *Tectona grandis* flowers. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 1, n. 2, p. 155-158, 2011b. DOI: https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60146-9.

RAMANKUTTY, C.; WARRIER, P. K.; NAMBIAR, V. P. K. **Indian medicinal plants**: a compendium of 500 species (Volume IV). Hyderabad: Indian Orient Black Swan, 1995.

RUDMAN, P.; COSTA, E. W. B. da; GAY, F. J.; WETHERLY, A. H. Relationship of tectoquinone to durability in *Tectona grandis*. **Nature**, v. 181, n. 4610, p. 721-722, 1958.

SALAZAR, R.; ALBERTIN, W. Requerimentos edáficos y climáticos para *Tectona grandis*. **Turrialba**, v. 24, n. 1, p. 66-71, 1974.

SHALINI, S. R. Antifungal activity screening and HPLC analysis of crude extracts from *Tectona grandis*, Shilajit, Valeriana wallachi. **The Internet Journal of Alternative Medicine**, v. 5, n. 2, p. 1-9, 2007. DOI: https://doi.org/10.5580/2390.

SRINIVASAN, D.; NATHAN, S.; SURESH, T.; PERUMALSAMY, P. L. Antimicrobial activity of certain Indian medicinal plants used in folkloric medicine. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 217-220, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00345-7.

SRIVASTAVA, S.; SHALINI, S. R. Antifungal activity screening and HPLC analysis of crude extract from *Tectona grandis*, Silajit, Valeriana wallachi. **International Journal of Modern and Alternative Medicine Research**, v. 5, n. 2, p. 20-25, 2008.

SUAREZ, A. V.; SATYAL, P.; SETZER, W. N. Chemical composition of the wood essential oil of *Tectona grandis*. **American Journal of Essential Oils and Natural Products**, v. 7, n. 4, p. 23-24, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANGMITCHAROEN, S.; OWENS, J. N. Floral biology, pollination, pistil receptivity, and pollen tube growth of teak (*Tectona grandis* Linn f.). **Annals of Botany**, n. 79, p. 227-241, 1997a. DOI: https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0317.

TANGMITCHAROEN, S.; OWENS, J. N. Pollen viability and pollen-tube growth following controlled pollination and their relation to low fruit production in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Annals of Botany**, v. 80, p. 401-410, 1997b. DOI: https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0440.

TANGMITCHAROEN, S.; TAKASO; T.; SIRIPATANADILOX, S.; TASEN; W. Behaviour major insect pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.): a comparison of clonal seed orchard versus wild trees. **Forest Ecology and Management**, v. 222, n. 1, p. 67-74, 2006a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.041.

TANGMITCHAROEN, S.; TAKASO, T.; SIRIPATANADILOX, S.; TASEN, W. Insect biodiversity in flowering teak (*Tectona grandis* L. f.) canopies: comparison of wild and plantation stands. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 99-107, 2006b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.040.

TEWARI, D. N. **A monograph on teak (*Tectona grandis* Linn. f.)**. Dehra Dun, Inde: International Book Distributors, 1992. 479 p.

THE PLANT LIST. **A working list of all plant species**: *Tectona*. [2021a]: Disponível em: http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Lamiaceae/Tectona/. Acesso em: 16 mar. 2021.

THE PLANT LIST. **A working list of all plant species**: *Tectona grandis* L. f. [2021b]. Disponível em: http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-202018. Acesso em: 16 mar. 2021.

VARMA, S. B.; GIRI, S. P. Study of wound healing activity of *Tectona grandis* Linn. f. leaf extract on rats. **Ancient Science of Life**, v. 32, n. 4 p. 241-244, 2013. DOI: https://doi.org/10.4103/0257-7941.131984.

VARMA, S. B.; JAYBHAYE, D. L. Antihyperglycemic activity of *Tectona grandis* Linn. f. bark extract on alloxan induced diabetes in rats. **International Journal of Ayurveda Research**, v. 1, n. 3, p. 163-166, 2010. DOI: https://doi.org/10.4103/0974-7788.72488.

VASTRAD, J. V.; GOUDAR, G. Development of chromatographic profiles by HPTLC andcharacterization of phenolics in the leaf extracts of *Tectona grandis*. **Research Journal of Chemistry and Environment**, v. 20, n. 2, p. 1-8, 2016.

VIZZOTTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. **Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. Pelotas, RS**: Embrapa Clima Temperado, 2010. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 316). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/886074. Acesso em: 16 jul. 2021.

VYAS, P.; YADAV, D. K.; KHANDELWAL, P. *Tectona grandis* (teak): a review on its phytochemical and therapeutic potential. **Natural Product Research**, v. 33, n.16, p. 2338-2354, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1440217.

ZHAO, F.; CHEN, Y. P.; SALMAKI, Y.; DREW, B. T.; WILSON, T. C.; SCHEEN, A. C.; CELEP, F.; BRÄUCHLER, C.; BENDIKSBY, M.; WANG, Q.; MIN, D. Z.; PENG, H.; OLMSTEAD, R. G.; LI, B.; XIANG, C. L. An updated tribal classification of Lamiaceae based on plastome phylogenomics. **BMC Biology**, v. 19, n. 2, p. 1-27, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s12915-020-00931-z.



2

Mercado mundial da madeira de teca

Ivan Tomaselli
Sofia Rumiko Hirakuri

Introdução

A teca (*Tectona grandis*) é uma espécie tropical que produz madeira de qualidade superior, amplamente utilizada há muitos séculos. No passado remoto, essa madeira era utilizada principalmente na construção naval. Os primeiros indícios do seu uso na construção naval datam do ano 1495, quando foram encontrados na costa da Ilha de Tilos, na Grécia, destroços de navios construídos com esta madeira.

A espécie é originária do sudeste asiático, com ocorrência natural na Índia, Laos, Mianmar e Tailândia. Existem ainda informações de que ocorre, em forma natural, em Java (Indonésia), no entanto, aparentemente, foi introduzida naquela região em um passado remoto (Kaosa-ard, 1989; Verhaegen et al., 2010; Kollert; Walotek, 2015).

A teca é uma espécie com grande capacidade de adaptação climática e edáfica, possui alta variabilidade genética entre populações e indivíduos, é bastante resistente à ação de insetos-pragas e doenças e de fácil propagação. Estas características, associadas à alta produtividade, fizeram com que plantios de teca fossem estabelecidos em mais de setenta países (Kollert; Walotek, 2015).

Em razão de sua fácil adaptação às diferentes condições de solo e de clima, além da boa forma do tronco e da possibilidade de atingir altas produtividades, associadas ao alto valor da madeira no mercado, o cultivo da espécie tem atraído investidores e, com isso, os plantios vêm sendo ampliados. Atualmente, a maior parte da madeira de teca consumida no mundo é proveniente de plantações e um aumento na participação desta fonte de suprimento é esperado nos próximos anos (Kollert; Walotek, 2015).

A madeira da teca apresenta muita versatilidade, podendo ser utilizada em diversos segmentos da cadeia produtiva, sendo adequada para uma ampla gama de usos. Apesar do interesse dos investidores em plantações florestais em função do aumento da demanda global, as informações sobre o mercado da madeira de teca ainda são pouco precisas. Neste capítulo são apresentadas informações disponíveis sobre o mercado mundial de madeira desta espécie.

A história e a importância da madeira de teca

Os primeiros registros de utilização da teca datam do século IV D.C., quando grandes quantidades dessa madeira foram exportadas da Índia para o lêmen, para a construção de

palácios, de templos e de navios. Posteriormente, quando os navegadores portugueses chegaram à Índia, a teca foi utilizada na construção de suas caravelas. Naquela época, a espécie era importante para a construção de navios que, quando construídos com madeiras europeias eram mais susceptíveis ao ataque de brocas marinhas, especialmente quando navegavam em águas tropicais (ITTO, 2009).

Por muitos anos, o suprimento de teca foi baseado em florestas naturais. No entanto, os plantios, embora em pequena escala, foram iniciados em um passado distante. Os primeiros plantios de teca foram feitos na Ásia, baseados em sementes coletadas, principalmente, na Índia e em Mianmar. O plantio precursor registrado foi estabelecido nos anos 1680, no Ceilão (atualmente Sri Lanka). Na Índia, os plantios iniciaram na década de 1840, aumentando para níveis significativos a partir de 1865. Os plantios de teca utilizando o método Taungya, no qual um plantio florestal é associado com cultivos agrícolas temporários, foi iniciado em Mianmar em 1856 e na Indonésia em 1880.

O cultivo da teca na África começou em 1902, mais especificamente na Nigéria, com sementes trazidas da Índia e de Mianmar. Em 1905, a teca foi introduzida em Gana, que registrou uma área comercial plantada de 40 mil ha em 2009. A teca foi plantada na Costa do Marfim, em 1927, com sementes obtidas de plantações do Togo (ITTO, 2009).

O primeiro plantio de teca na América Central foi estabelecido em Trinidade e Tobago em 1913, com sementes provenientes de Mianmar. Os plantios dessa espécie na Costa Rica, em Honduras e no Panamá tiveram início entre 1927 e 1929 (ITTO, 2009).

Na fase inicial, a maioria dos plantios era feita em pequena escala e tinha como objetivo verificar a adaptação da espécie às condições locais e produzir sementes, visando à ampliação da área plantada. Essa área plantada se expandiu realmente após a Segunda Guerra Mundial, especialmente nas décadas de 1960 e 1970, com sua introdução na Flórida e no Havaí, para testar a adequação da espécie (ITTO, 2009).

No Brasil, a primeira experiência aconteceu em pequenos plantios, em São Paulo e no Rio de Janeiro, no início do século XX. Não existem registros seguros, mas muito provavelmente os primeiros plantios comerciais de teca, em larga escala no Brasil, foram estabelecidos em meados do século passado, no município de Cáceres, em Mato Grosso (Cáceres Florestal S.A.).

As plantações de teca se espalharam mais lentamente na América Latina e no Caribe do que nas outras regiões tropicais. No final da década de 1970, havia apenas 12 mil ha em toda a região. A crescente demanda internacional por madeira de teca, aliada às restrições

de exploração de florestas nativas, têm aumentado o interesse de investidores da América Latina pela espécie. A Costa Rica e o Brasil, particularmente, têm também atraído investidores estrangeiros para financiar plantações dessa espécie, em grande escala. O Brasil tem atualmente cerca de 100 mil ha plantados com teca (ITTO, 2009; Kollert; Walotek, 2015; STCP Engenharia e Projetos, 2017).

Além do uso na construção naval, que predominou no passado remoto, as toras de madeira de grandes dimensões, procedentes de exemplares nativos de teca, têm sido utilizadas por vários séculos, em diversos países da Ásia, particularmente na Índia, na Tailândia, em Mianmar e em Laos, principalmente na fabricação de móveis, estruturas, pisos, portas, janelas, peças torneadas e utensílios. Devido à sua alta durabilidade, a teca tem sido utilizada também em propriedades rurais, como mourões, estacas, postes e palanques. Nestes últimos casos, a madeira procedente de plantios jovens deve receber tratamento preservativo.

Na realidade, a versatilidade dessa madeira a torna adequada para uma ampla gama de usos para acabamentos. Ela vem sendo cada vez mais utilizada para móveis de alto valor e em decks de barcos e iates de luxo. É ideal para aplicações onde há alta umidade ou contato com a água, porque não se deforma e seus óleos e resinas naturais (tecnoquininas) repelem a água e reduzem o ataque de insetos ou fungos (Midgley et al., 2015a, 2015b; Somaiya, 2015).

A coloração e o efeito decorativo são atributos importantes da qualidade da madeira de teca, mas não os únicos considerados na sua seleção para determinadas aplicações especiais, como móveis e usos decorativos. Na Índia, ela é usada, principalmente, para componentes decorativos na construção civil, enquanto na China é usada, predominantemente, para a fabricação de móveis para exportação. Na Inglaterra, em função principalmente da durabilidade natural, é usada em móveis para jardim de alta qualidade. Bancos de jardins feitos com madeira de teca e construídos há mais de um século ainda enfeitam os jardins de Londres, desde o Hyde Park até o Kew Garden (ITTO, 2010; Kollert; Kleine, 2017).

A madeira de teca, historicamente usada na construção naval, é ainda empregada em embarcações de alto desempenho e de luxo. Na atualidade, é preferencialmente usada como vigas, painéis e em fachadas decorativas, molduras, pisos, componentes de móveis, portas sólidas e portas niveladas, molduras de portas e de janelas, artigos esculpidos, utensílios domésticos e utensílios de cozinha (Kollert; Kleine, 2017).

As madeiras de menores dimensões, procedentes de plantios jovens, têm também amplas aplicações. A partir da madeira de árvores ainda jovens é possível obter tábuas de menor dimensão (estreitas e curtas). Estes materiais têm um padrão de cores distinto, marcado pelo

núcleo marrom escuro e o alburno amarelado, sendo também adequados para a fabricação de móveis, de pisos, de decks e de outros componentes decorativos (Midgley et al., 2015a, 2015b; Kollert; Kleine, 2017).

A oferta de madeira de teca

Teca procedente de florestas nativas

Áreas com florestas nativas de teca

De acordo com estudo publicado em 2012 pela FAO, Mianmar, India e Indonésia[5], eram os principais produtores mundiais de madeira desta espécie (Kollert; Kleine, 2017). Estes três países produziram, no século passado, mais de 95% da madeira de teca procedente de florestas nativas (Kollert; Kleine, 2017).

Em 2010, a área total com florestas nativas de teca na Índia, em Laos, em Mianmar e na Tailândia era aproximadamente 29 milhões de ha. Uma grande parte desta área está localizada em Mianmar (13 milhões de ha), desempenhando um papel significativo no comércio global da madeira dessa espécie. A maior parte dessas florestas nativas é atualmente área protegida ou tem limitações de uso (Kollert; Cherubini, 2012; Kollert; Kleine, 2017).

Nas últimas décadas, as florestas nativas de teca vêm sendo ameaçadas devido à exploração excessiva e, também, devido à conversão de terras para outros tipos de usos (Kollert; Kleine, 2017). Até a década passada, Mianmar era responsável por cerca de um quarto do fornecimento de toras de teca de florestas nativas, que eram tidas no mercado como de qualidade diferenciada.

As florestas nativas de teca são manejadas considerando rotações mais longas e, com isso, são disponibilizadas toras de maior diâmetro e de melhor qualidade em relação àquelas madeiras obtidas de plantios comerciais, que são de curta rotação. Como resultado de um ciclo de manejo mais longo (maior idade), as toras de florestas nativas apresentam maior diâmetro e elevada proporção de cerne, resultando em um melhor efeito decorativo e melhores propriedades físicas e mecânicas que a madeira mais jovem. Por estas razões, a madeira de teca originária de florestas nativas é reconhecida no mercado como a de melhor qualidade e comercializada com preços bem maiores (Kollert; Walotek, 2015).

[5] Existem informações de que a teca ocorre, em forma natural, em Java (Indonésia), no entanto, aparentemente, foi introduzida naquela região em um passado remoto (Kaosaard, 1989; Verhaegen et al., 2010; Kollert; Walotek, 2015).

Oferta de madeira nativa de teca

Durante os últimos 20 anos, a oferta de madeira de teca proveniente de florestas nativas diminuiu e, ao mesmo tempo, houve aumento no interesse pelo estabelecimento de plantios desta espécie. Porém, a transição em direção a uma maior utilização de teca plantada não está ocorrendo sem dificuldades ou controvérsias, visto que a madeira de plantios tem propriedades diferentes em relação àquelas produzidas por florestas nativas (STCP Engenharia e Projetos, 2017).

As informações sobre a oferta e a produção global de madeira de teca, especialmente de florestas nativas, são incompletas e imprecisas. Dados publicados por Kollert e Cherubini (2012) indicam que, no início da presente década, a produção mundial de madeira de teca a partir de florestas nativas era aproximadamente 500 mil m^3 ano^{-1}. Este volume é, muito provavelmente, subestimado, não sendo considerados os volumes oriundos da exploração ilegal e aqueles consumidos localmente, principalmente por comunidades. Dessa produção total, reportada de madeira de teca de florestas nativas, a maioria era originária de Mianmar e apenas uma pequena parte era proveniente da Índia, da Indonésia, de Laos e da Tailândia (Kollert; Cherubini, 2012).

Existem também questões quanto à confiabilidade das estatísticas. Mianmar, por exemplo, relatou produção de 538 mil m^3 de toras de teca de florestas naturais em 2010, o que está acima do corte anual permitido e definido em 420 mil m^3 (Kollert; Cherubini, 2012). Aparentemente, a produção de toras de teca de florestas naturais em Mianmar está no limite da sustentabilidade e, no futuro próximo, haverá um maior declínio na oferta global de madeira de teca de florestas naturais (Kollert; Cherubini, 2012).

Perspectivas

Mianmar, Índia e Indonésia são tradicionalmente as principais fontes de madeira de teca de florestas nativas comercializadas nos mercados internacionais. São áreas relativamente extensas de florestas nativas, mas, por diversas razões, o fornecimento de toras de teca de qualidade destas fontes continua a declinar. Mianmar, por exemplo, diminuiu a oferta de madeira nativa de teca como resultado da normativa de proibição de exportação de toras, em vigor desde 1º de abril de 2014. Outros países detentores de florestas nativas de teca têm também convertido parte destas áreas em unidades de conservação.

A Organização Internacional de Madeiras Tropicas (OIMT) relata que a *Myanmar Timber Enterprise* (MTE), a única agência responsável pela exploração/extração e distribuição de

toras em Mianmar, está reduzindo drasticamente seu volume anual de colheita de madeira de florestas nativas. Esse aspecto aumentou o interesse em estabelecer e manejar, de forma sustentável, as florestas plantadas de teca (Kollert; Kleine, 2017).

Teca procedente de plantações

Áreas com florestas plantadas de teca

Desde a década de 1980, quando o suprimento de madeira de teca de florestas nativas começou a declinar, a busca por madeira de plantações tem crescido. As plantações estão dispersas em cerca de 70 países tropicais na Ásia tropical, na África, na América Latina e na Oceania. Para a maioria desses países, a teca é uma espécie introduzida e representa uma oportunidade de produzir madeira de qualidade, tendo atraído investimentos do setor privado e se tornado uma atividade importante para as economias florestais nacionais (Kollert; Kleine, 2017).

As madeiras de plantações de teca de rotações mais longas, com mais de 50 anos de idade, existentes na Índia, na Tailândia e na Indonésia, produzem madeira de qualidade equivalente àquela das florestas nativas. A maioria das florestas plantadas de teca, no entanto, é manejada em rotações mais curtas, de 20-30 anos e, como resultado, o mercado tem uma percepção diferenciada da madeira de teca de plantações.

A madeira produzida em plantios de rotações mais curtas certamente não atingirá os mesmos padrões de qualidade atingidos pela madeira de teca de florestas nativas. A qualidade da madeira tem relação com a idade e um dos indicadores é a dimensão do tronco. Como já mencionado, as toras de maior diâmetro têm, em geral, uma maior proporção de cerne, com melhor efeito decorativo. Além disso, árvores de maior idade produzem madeira com melhores propriedades físicas e mecânicas (Kollert; Kleine, 2017).

As plantações florestais de teca foram estabelecidas, com sucesso, em vários países nas regiões tropicais (ITTO, 2009). Estima-se que a área atual plantada com teca seja aproximadamente 7 milhões de ha, sendo a terceira espécie florestal mais plantada nos trópicos. Em alguns países como a Índia, a teca é a espécie mais plantada (ITTO, 2009).

A produtividade pode ser alta e, mesmo sendo madeira de floresta plantada, pode alcançar altos preços no mercado. Além disso, essa espécie tem poucos problemas com

insetos e agentes patogênicos, especialmente quando comparada com outras espécies de alto valor, tal como o mogno (*Swietenia macrophylla* King.) e o cedro (*Cedrella odorata* L.) que, em algumas regiões, estão sujeitas aos ataques potencialmente devastadores, como a broca *Hypsipyla grandella* (ITTO, 2009).

A maior parte dos aproximadamente 7 milhões de ha de plantios de teca está localizada na Ásia (82%), seguida pela África (11%), América tropical (6%) e Oceania (1%). É muito provável que esta área plantada esteja subestimada, uma vez que os dados compilados não englobam todos os países que possuem plantios de teca. Na Figura 1 são apresentados os principais países detentores de plantações de teca.

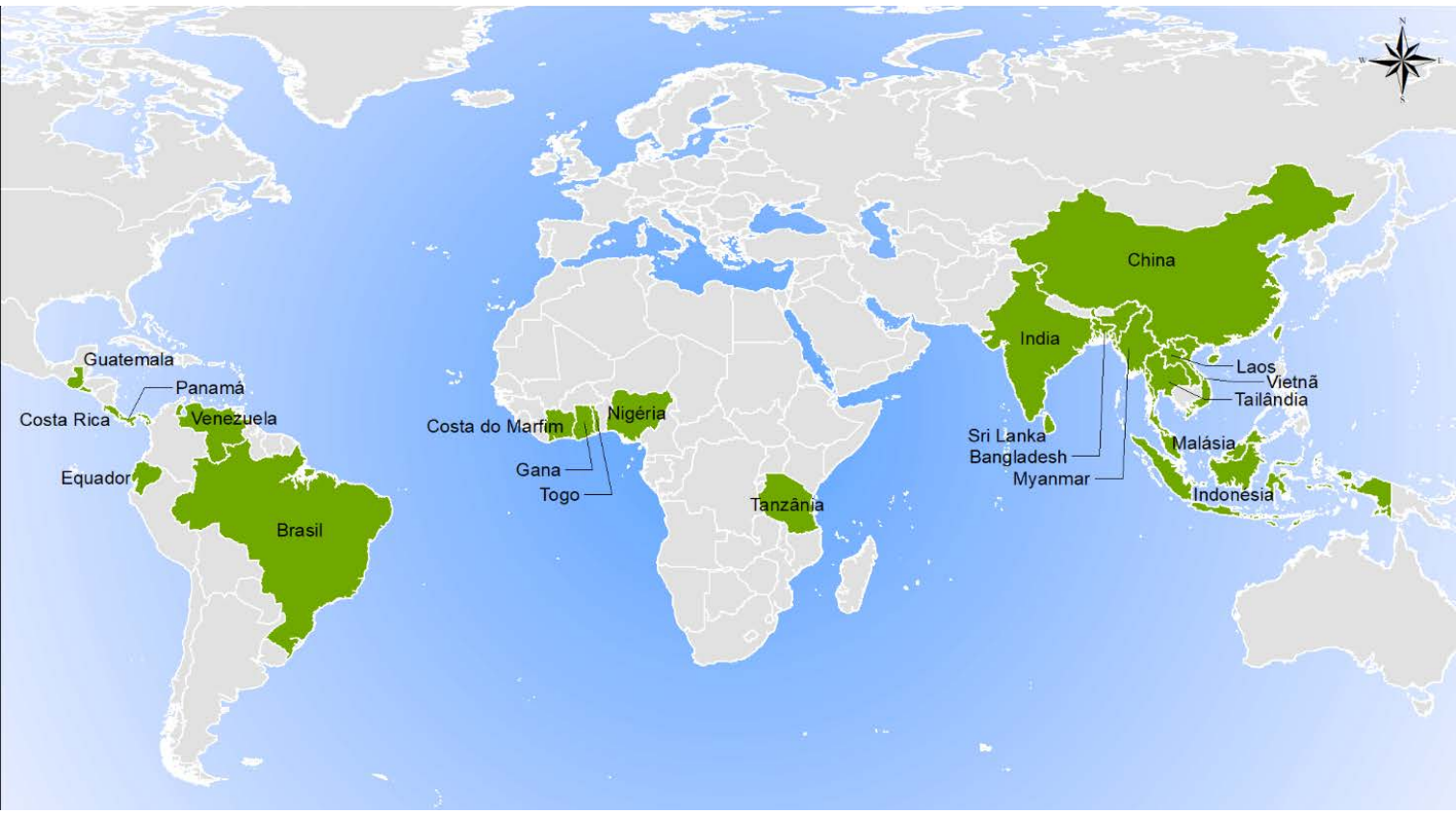


Figura 1. Principais países com florestas plantadas de teca.
Fonte: Kollert e Walotek (2015) e Midgley et al. (2015a, 2015b), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2020).

Informações sobre as áreas plantadas nos principais países detentores de plantios de teca são apresentados na Tabela 1 (Kollert; Walotek, 2015; Midgley et al., 2015a, 2015b; STCP Engenharia e Projetos , 2020). A maior área com florestas plantadas de teca se encontra na Índia com 2,56 milhões de ha, aproximadamente 37% do total; seguida pela Indonésia, com 1,47 milhão de ha (21%); Tailândia, com 836 mil ha (12%) e Mianmar, com 461 mil ha (9%).

Desde 1995, a área plantada com teca aumentou significativamente na África, em especial em Benin, em Gana, na Costa do Marfim, na Nigéria e na Tanzânia. Aumentos de área plantada também ocorreram na América Central, tais como na Costa Rica, em El Salvador, na Guatemala, na Nicarágua e no Panamá. Na América do Sul, os maiores aumentos foram no Equador, no Brasil e na Colômbia (Kollert; Walotek, 2015; Midgley et al., 2015a, 2015b; Kollert; Kleine, 2017). Outros países detentores de plantios expressivos de teca são: Malásia, Camboja, Mianmar, Fiji e Papua Nova Guiné (ITTO, 2009).

Para melhorar a produtividade e produzir madeira de teca de boa qualidade em florestas plantadas, foram implementados programas de melhoramento genético, principalmente na América Latina e na Ásia. A maioria das florestas plantadas de teca nestas regiões é atualmente estabelecida com germoplasma baseado em um número muito limitado de clones, originários, principalmente, da Costa Rica, da Malásia e da Tailândia (Kollert; Kleine, 2017).

Atualmente, grande parte das florestas plantadas mundiais de teca tem idade inferior a 20 anos. A distribuição por classe de idade prevalecente é uma indicação da necessidade de maiores esforços para estabelecer e manejar florestas plantadas de curta rotação e esse padrão provavelmente prosseguirá no futuro. O entusiasmo e o interesse de muitos investidores privados e corporativos pela teca plantada manterão a estrutura de colheita de madeira jovem, uma opção para melhorar a taxa de retorno dos investimentos. Isso levará a um aumento significativo da oferta de toras de pequena dimensão ao mercado (Kollert; Kleine, 2017).

Tabela 1. Área plantada com teca, por país (2014).

País	Área (1.000,00 ha)	Total (%)
Índia	2.561	37
Indonésia	1.470	21
Tailândia	836	12
Mianmar	461	6
Gana	214	3
Nigéria	146	2
Brasil	99	1
Bangladesh	73	1
Costa do Marfim	66	1
Panamá	55	1
Outros	977	14
Total	**6.958**	**100**

Fontes: Kollert e Walotek (2015) e Midgley et al. (2015a, 2015b), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2020).

Produtividade dos plantios de teca

A produtividade dos plantios de teca varia em função de diversos fatores tais como: as condições edafoclimáticas locais, o material genético, as técnicas adotadas na preparação do solo, a adubação e o manejo. Informações disponíveis sobre a produtividade de plantios de teca em países selecionados são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Incremento médio anual (IMA) de volume de madeira de plantações de teca em países selecionados.

País	IMA ($m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$)
Brasil	9-15
Costa Rica	7-15
Gana	3-8
Índia	4-9
Indonésia	4-11
Tailândia	4-9
Nigéria	6-20
Costa do Marfim	8-15

Fontes: STCP Database, ITTO (2009), adaptado por STCP Engenharia e Projetos.

A produtividade dos plantios de teca varia entre 3-20 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. A maioria dos plantios tem baixa produtividade. As menores produtividades são aquelas de plantios estabelecidos no passado, principalmente, na Ásia (Indonésia, Índia e Tailândia) e na África (Gana, Nigéria e Costa do Marfim) e as maiores são encontradas em plantios estabelecidos mais recentemente, particularmente, na América Central e na América do Sul. No Brasil, a maior parte dos plantios se encontra nos estados de Mato Grosso e do Pará. Uso de clones de alto desempenho e o aprimoramento de técnicas de plantio e de manejo têm permitido ao Brasil atingir produtividades acima da média mundial.

De maneira geral, a produtividade deverá continuar a crescer ao longo dos próximos anos. O crescimento será resultado do desenvolvimento de novos materiais genéticos clonais, das melhorias na preparação do solo, da adoção de novas técnicas de fertilização e de manejo dos plantios.

Para a teca, é considerado como valor superior um incremento médio anual (IMA) de volume de madeira entre 15-20 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. Como já mencionado, o IMA na maioria das plantações de teca do mundo é baixo, inferior a 5 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. São exceções, principalmente, investimentos em plantios mais recentes, que adotaram material genético melhorado e

técnicas mais avançadas de plantio, de fertilização e de manejo. É citado que um IMA igual a 5 m^3 ha^{-1} ano^{-1} é o limite inferior para as plantações serem consideradas economicamente atrativas aos investidores (Kollert; Cherubini, 2012). No entanto, em plantações de teca, o IMA deve ser interpretado com cautela, pois existem outras variáveis afetando o retorno do investimento. Um IMA alto, por exemplo, pode ser associado a uma elevada densidade dos plantios (número de árvores por unidade de área), o que reduz o diâmetro médio de árvores e, também, diminui o preço do produto, afetando o retorno (Kollert; Kleine, 2017).

As plantações clonais, normalmente, apresentam maiores IMA's e, também, maior uniformidade. Os resultados do crescimento de clones em todo o mundo foram revisados por Ugalde Arias (2013). Ele relatou ter identificado um IMA de até 32 m^3 ha^{-1} ano^{-1} em algumas plantações clonais estabelecidas no México e no Brasil. No estado de Mato Grosso, Brasil, plantações clonais de 10 anos mostram incrementos de diâmetro anuais de mais de 3 cm ano^{-1}. Além disso, esses clones estão mostrando crescimento em altura excepcional e uma maior homogeneidade do povoamento.

Smit e Oestreich Filho (2014) compararam os volumes de madeira de plantações clonais com seminais, com uma idade de até 9 anos e, também, de uma plantação clonal gerenciada de 17 anos de idade, em Mato Grosso. Os autores constataram que os valores de diâmetro médio das plantações clonais, bem como os valores de volume por árvore e de índice de área foliar foram significativamente superiores. Em média, as plantações clonais apresentaram um diâmetro 40% superior àqueles obtidos nas plantações por sementes. Além disso, as árvores clonadas apresentaram maior resistência à ferrugem da teca (*Olivea neotectonae*) que os plantios seminais e, ainda, maior tendência à desrama natural e com sistemas radiculares superficiais mais densos.

Em plantações comerciais de teca, aos 12 anos de idade no Brasil, implantadas pela antiga Empresa Floresteca Indústria de Madeira Ltda (atualmente com gestão de ativos pela Teak Resources Company – TRC Agroflorestal Ltda), os clones mostraram crescimentos superiores (diâmetro 14% e volume 40% superiores) aos de plantações seminais, em condições locais semelhantes. Os resultados das plantações clonais de teca são, portanto, muito promissores, no entanto, um plano de monitoramento global é necessário para avaliar o desempenho clonal, sob condições operacionais de um ponto de vista biológico e financeiro e, também, para determinar sob quais condições as plantações clonais devem ser preferidas às plantações seminais tradicionalmente melhoradas (Kollert; Kleine, 2017).

Evidentemente, existem outras variáveis que afetam a produtividade. Pandey (1996) desenvolveu um modelo para prever a produtividade potencial dos plantios de teca em nível

local ou regional, utilizando fatores climáticos. O modelo adotado indicou que as variações climáticas explicam 59% das variações de produtividade potencial dos plantios de teca. A umidade relativa do ar e a precipitação pluviométrica média anual foram identificadas como os mais importantes fatores que influenciam o crescimento dessa espécie.

Estimativa da oferta sustentada de madeira de teca oriunda de florestas plantadas

Como as informações sobre a área e a produtividade de plantios de teca são incompletas e, também, pouco precisas, as estimativas da produção de madeira dessas plantações florestais são frágeis. Se considerada a área plantada de aproximadamente 7 milhões de ha e a produtividade média reportada pelos diversos países, a capacidade potencial de produção sustentada de madeira global a partir de florestas plantadas de teca estaria entre 30-40 milhões de m^3 ano^{-1}. Esta estimativa é alinhada com aquela reportada por Midgley et al. (2015a, 2015b).

A Tabela 3 apresenta a estimativa da capacidade de produção sustentável de madeira, baseada na área e no IMA das plantações de teca em países selecionados. Estima-se que a produção sustentada global de madeira de teca oriunda de florestas plantadas atinja mais de 31 milhões de m^3 ano^{-1}. Índia, Indonésia e Tailândia, principais países detentores de florestas plantadas de teca, com aproximadamente 5 milhões de ha, têm uma capacidade de produção sustentável estimada em aproximadamente 24 milhões de m^3 ano^{-1} (ITTO, 2009).

Tabela 3. Capacidade de produção de madeira sustentável de plantações de teca em países selecionados (2005).

País	Área Plantada (1.000 ha)	IMA médio (m^3 ha^{-1} ano^{-1})	Capacidade de produção sustentável (1.000 m^3 ano^{-1})
Índia	2.561	5,0	12.805
Indonésia	1.470	5,0	7.350
Tailândia	836	5,0	4.180
Costa do Marfim	66	11,3	756
Gana	40	15,0	600
Nigéria	50	9,5	450
Brasil	74	9,5	703
Costa Rica	30	13,0	390
Subtotal	5.127	-	27.234
Outros	855	-	4.091
TOTAL	**5.982**	**-**	**31.325**

Fonte: ITTO (2009), compilado por STCP Engenharia e Projetos .

Quase tão importante quanto o volume é a qualidade da madeira. As plantações asiáticas têm menor produtividade e, por essa razão, tendem a produzir madeira mais densa, escura e uniforme do que as plantações do Brasil e da Costa Rica (ITTO, 2009). O principal fator é a rotação, que é mais longa no caso dos plantios asiáticos. Com isso, os produtos obtidos são diferentes e as toras produzidas na Ásia tendem a obter um preço mais elevado no mercado (ITTO, 2009).

Mercado mundial de madeira de teca

Visão geral do mercado

Uma análise geral do mercado indica que o crescimento da demanda global de madeira de teca deverá ser mais acentuado ao longo das próximas décadas. Existem também evidências de que a participação da madeira de florestas nativas no mercado da madeira deverá continuar a declinar e o atendimento da demanda no futuro será baseado, principalmente, em madeira procedente de plantios florestais.

Além das plantações serem uma fonte de madeira mais competitiva quando comparada com madeira de florestas nativas, o crescimento da demanda por teca plantada será incrementado em decorrência da dificuldade de acesso dos suprimentos de florestas nativas, em função das restrições principalmente ambientais (Kollert; Kleine, 2017). A demanda por madeira decorativa e de aplicações especiais também deverá ser impulsionada pelo aumento da renda nos principais países consumidores, tais como a Índia e a China (Kollert; Kleine, 2017).

Embora historicamente a madeira de teca seja importante no mercado, não existe informações confiáveis para estimar com precisão o consumo global. A principal dificuldade está na obtenção de informações relativas aos consumos domésticos dos países detentores de florestas nativas e, ou plantadas, particularmente na Ásia. As razões estão associadas à falta de registros estatísticos de consumos locais, como também da cadeia de produção e do comércio informal ou de ilegalidades. As informações mais confiáveis são aquelas relacionadas ao comércio internacional, envolvendo basicamente toras, blocos e madeira serrada.

Comércio internacional de toras

Atualmente, uma grande parte da madeira de teca produzida em plantações na África e na América Latina é exportada. O mercado doméstico para madeira de teca destes países é

ainda incipiente, mas tende a crescer. Os países africanos tanto quanto os latino-americanos transformam apenas uma parte das toras de teca em produtos semiacabados ou acabados. A maioria dos países destas regiões ainda exporta madeira de teca na forma de toras ou blocos para atender, principalmente, à demanda indiana.

Na Índia, o processamento é feito, em grande parte, de forma artesanal, sendo que os custos são mais baixos e, com isto, podem ser utilizadas toras de pequeno diâmetro. Como resultado, os produtores de teca, particularmente na América Latina, tendem a ter um melhor retorno exportando toras e blocos do que produtos acabados ou semiacabados (Kollert; Kleine, 2017).

As estatísticas do comércio mundial de produtos florestais da FAO indicam que, nos últimos dez anos, o comércio internacional de tora industrial de madeira tropical foi, em média, aproximadamente, 15 milhões m^3 ano^{-1} (Kollert; Kleine, 2017). Deste volume, pouco mais de 1 milhão de m^3 ano^{-1} foi madeira de teca, o que corresponde a cerca de 7% do volume total comercializado no mercado internacional (Kollert; Kleine, 2017).

A Figura 2 apresenta, com base no levantamento realizado em 2014, a participação dos países mais importantes na exportação de toras de madeira de teca. Naquele ano, o principal exportador era Mianmar, que exportava basicamente toras obtidas de florestas nativas. Outros exportadores importantes como Equador, Costa Rica, Gana e Panamá exportavam toras de florestas plantadas.

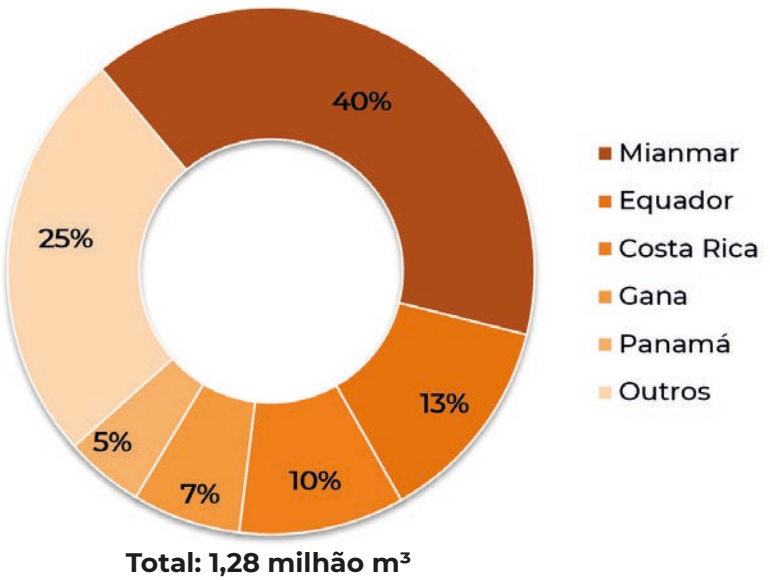


Figura 2. Principais países exportadores de toras de teca no mundo (2014).
Fonte: Kollert e Walotek (2015), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

O comércio mundial de madeira de teca proveniente de florestas plantadas, conforme já ressaltado, vem crescendo e esta tendência deverá continuar ao longo das próximas décadas. As projeções indicam que a principal fonte de suprimento futuro serão as plantações da América do Sul e Central, que têm maior produtividade e, portanto, são mais competitivas.

Em termos de valor, o comércio internacional de toras de teca representou ao longo dos últimos anos quase US$ 500 milhões ano^{-1}. A maior parte das importações de madeira de teca em tora ou blocos é feita por três países: Índia, China e Tailândia. A Índia é responsável por 73% das importações totais de toras de teca e os seus negócios são feitos com grande número de países. Na Figura 3 são apresentadas as participações dos principais importadores mundiais de madeira de teca em tora, com base em dados de 2014.

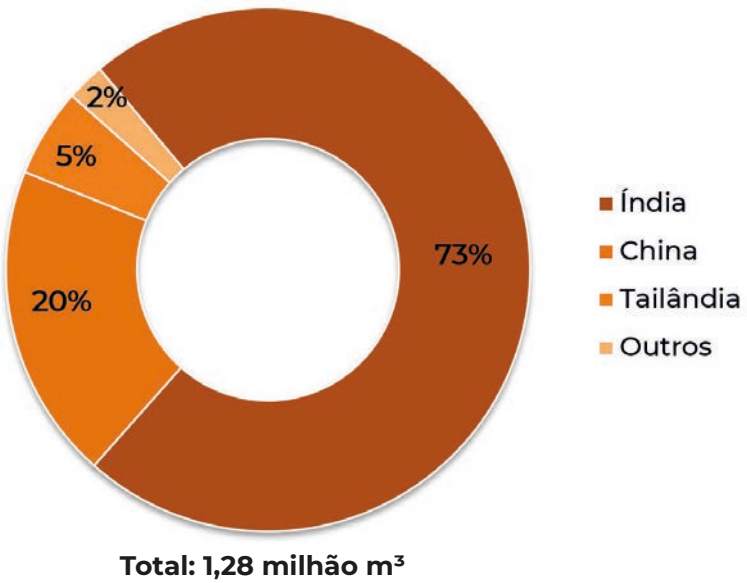


Figura 3. Principais países importadores de toras e blocos de madeira de teca no mundo (2014).
Fonte: Kollert e Walotek (2015), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

A tendência é de um continuado crescimento no comércio internacional de toras de teca. Desde o ano 2000, o comércio nos três principais países importadores mais do que dobrou, em termos de volume (de 557 mil m^3 em 2000 para 1,2 milhão de m^3 em 2014) e mais que quadruplicou em termos de valor (de US$ 166 milhões em 2000 para US$ 696 milhões em 2014). Este aumento foi suportado, principalmente, pelas importações da Índia e da China. Neste período, Mianmar, tradicional exportador de toras, aumentou as exportações em 27%. No entanto, devido às restrições impostas nas exportações de toras nativas, este país não conseguiu acompanhar o aumento da demanda global. Consequentemente, a importância

de Mianmar como player global no comércio internacional de toras de teca diminuiu (Kollert; Kleine, 2017).

Um fato relevante relacionado ao comércio internacional de toras de teca aconteceu em 1º de abril de 2014, quando Mianmar implementou uma proibição de exportação de toras de origem nativa. Isto reduziu notavelmente a disponibilidade de teca nativa no mercado global. Esta proibição teve um impacto relevante, particularmente no mercado chinês, que importava 80% da madeira de teca de Mianmar. Isso desencadeou um forte aumento nos preços da madeira de teca de florestas nativas, assunto que será discutido adiante.

Nos últimos anos, a Índia aumentou ainda mais sua participação nas importações globais e responde atualmente por quase 80% do comércio global de toras de madeira de teca. As importações de teca da Tailândia diminuíram consideravelmente nos últimos anos (Kollert; Kleine, 2017).

A Índia, além de consumidora, é uma grande produtora de madeira de teca. No entanto, devido aos incrementos na demanda doméstica, esse país aumentou a importação de madeira de teca, sendo atendido em grande parte pelas plantações da América do Sul e Central. A preferência da Índia, conforme já comentado, em função da sua capacidade de processamento local e da taxação de produtos acabados de madeira, é pela importação de toras e blocos de teca (Midgley et al., 2015a, 2015b; Kollert; Kleine, 2017).

Katwal (2003) reconheceu que a demanda da Índia por madeira de teca aumentou várias vezes durante as últimas cinco décadas. Essa forte demanda interna a torna o maior consumidor de madeira de teca oriunda de florestas plantadas no mundo. Uma retração no mercado indiano teria um impacto significativo no mercado global de teca, especialmente para madeira de pequena dimensão (Kollert; Kleine, 2017).

Comércio internacional de madeira serrada de teca

Os volumes de madeira serrada comercializados no mercado internacional são substancialmente menores do que os volumes de toras ou de blocos. A maior parte da madeira serrada comercializada no mercado internacional é procedente de plantações. O comércio é baseado em toras de pequeno diâmetro e tem como característica peças mais curtas (normalmente 3 m ou menos) e estreitas.

A madeira de teca, procedente de plantios de rápido crescimento e de curta rotação, tem aparência e propriedades diferentes da madeira de teca nativa. Ela é menos decorativa,

com uma coloração variando entre um marrom escuro até creme e a sua massa específica é levemente inferior. Mesmo assim, a madeira de plantações tem tido boa aceitação no mercado e possui características e propriedades adequadas para a produção de móveis, pisos, decks, molduras, utensílios e outros produtos de maior valor agregado (Midgley et al., 2015a, 2015b; Kollert; Kleine, 2017).

As exportações mundiais de madeira serrada de teca atingiram 140 mil m^3 em 2014. No início da década passada, Mianmar, além de ser um grande exportador de toras de teca, era também um importante exportador de madeira serrada. Suas exportações de madeira serrada de teca, em meados dos anos 1970, atingiram mais de 70 mil m^3, ou seja, praticamente a metade do volume comercializado no mercado internacional naquele ano (Kollert; Kleine, 2017).

O crescimento recente na exportação de madeira serrada de teca por Mianmar tem sido impulsionado principalmente pelas limitações impostas em 2014, para exportação de toras. A expectativa é de que Mianmar passe a ser um exportador, principalmente de madeira serrada de teca e, no futuro, de produtos de maior valor agregado. Atualmente, a maior parte da madeira serrada de teca exportada por Mianmar, cerca de 70%, tem como destino a China e a Tailândia.

A participação dos principais exportadores de madeira serrada de teca, com base em estatísticas de 2014, é apresentada na Figura 4. As exportações de madeira serrada, baseadas em plantações localizadas na América Latina e na África, deverão crescer sob taxas elevadas nos próximos anos.

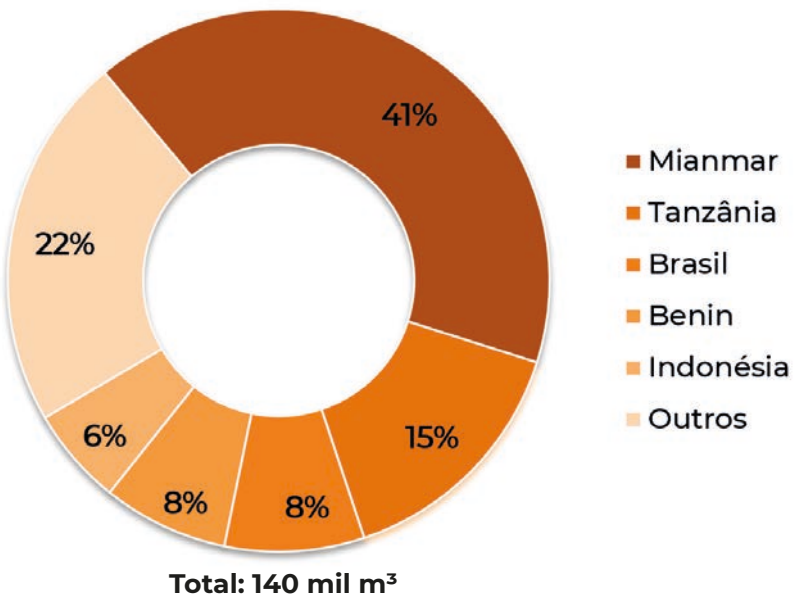


Figura 4. Principais países exportadores de madeira serrada de teca no mundo (2014).
Fonte: Kollert e Walotek (2015), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

Embora o volume de madeira serrada de teca comercializado no mercado internacional ainda seja pequeno, a tendência é de um rápido crescimento. As importações chinesas de madeira serrada de teca, por exemplo, têm aumentado significativamente. Enquanto a Índia usa a maior parte da madeira de teca para construção civil, a China a usa predominantemente para a fabricação de móveis para exportação e a madeira de florestas plantadas tem se mostrado adequada para tal (Kollert; Kleine, 2017).

De 2005 a 2014, o comércio global médio anual de madeira serrada de teca foi cerca de 120 mil m³ ou cerca de US$ 75 milhões. Os principais importadores de madeira serrada na década passada foram: a China, responsável por aproximadamente 50% do total e a Índia com 35%. Outros importadores importantes foram: Tailândia, Taiwan e Coreia do Sul (Figura 5). Mais recentemente, as importações têm se diversificado, com demandas crescentes de diversos países europeus e dos Estados Unidos.

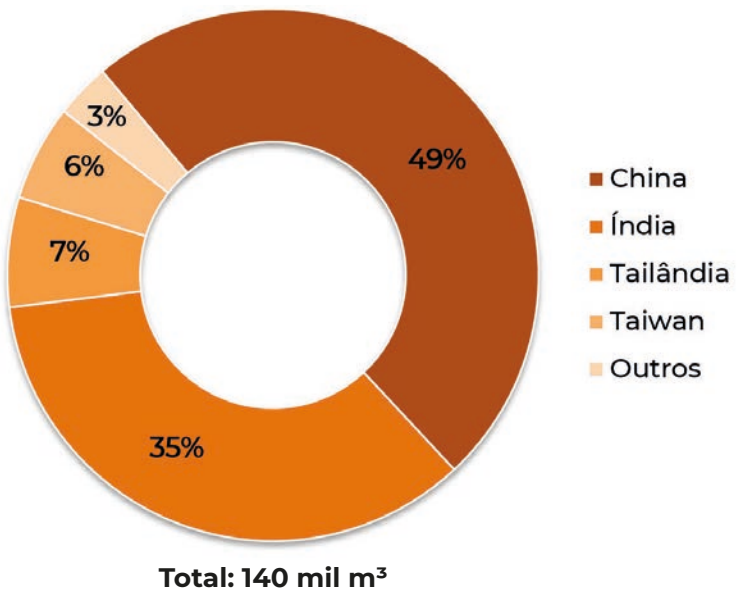


Figura 5. Principais importadores de madeira serrada de teca no mundo (2014).
Fonte: Kollert e Walotek (2015), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

Comércio internacional de produtos de maior valor agregado

As informações sobre o comércio mundial de produtos de maior valor agregado (PMVAs), baseados em madeira de teca, são ainda mais limitadas. Na realidade, a diversidade de PMVAs e a forma de comercialização dificultam o registro das estatísticas. De qualquer forma, a teca

é, principalmente, utilizada para PMVAs. O efeito decorativo e a qualidade da madeira de teca a torna adequada para uma ampla gama desses produtos (Midgley et al., 2015a, 2015b).

Mesmo sendo uma madeira utilizada predominantemente para PMVAs, a sua participação relativa no comércio internacional destes produtos é bastante reduzida, muito provavelmente menor que 1% (Kollert; Kleine, 2017). O comércio internacional envolve uma grande gama de PMVAs, baseados em diversas madeiras e não existem estatísticas segregando aqueles produzidos com madeira de teca. De qualquer forma, em função de limitações no suprimento de madeiras nobres de florestas tropicais nativas e, da crescente oferta de madeira de teca oriunda de florestas plantadas, é muito provável que, ao longo dos próximos anos, ocorra um aumento da participação no mercado internacional da madeira serrada e, também, de PMVAs baseados em teca.

Entre os PMVAs com madeira se destacam os móveis. Os principais produtores mundiais de móveis são: China, Estados Unidos, Itália, Alemanha, Índia, Japão, França e Polônia, enquanto os principais exportadores mundiais são: China, Alemanha, Itália, Polônia, Estados Unidos e Vietnã (Midgley et al., 2015a, 2015b). A China é atualmente o maior produtor e exportador mundial de móveis (Midgley et al., 2015a, 2015b).

A indústria mundial de móveis se expandiu junto com a recuperação e a expansão da economia global ocorrida desde a crise financeira de 2008 (Midgley et al., 2015a, 2015b). A partir de 2012, a produção global de móveis voltou a se recuperar e ainda se encontra em fase de crescimento (Midgley et al., 2015a, 2015b). O valor da produção total de móveis em 2011 foi avaliado em US$ 370 bilhões. Deste total, aproximadamente US$ 109 bilhões foram comercializados no mercado internacional (Midgley et al., 2015a, 2015b).

Embora os Estados Unidos sejam um dos principais produtores, são também o país maior importador de móveis, com volumes na ordem de US$ 12,4 bilhões em 2011 (United Nations, 2012). Os países europeus também são, além de produtores, grandes importadores de móveis de madeira. Trata-se de um mercado cada vez mais sensível à legalidade e à certificação de sustentabilidade (Midgley et al., 2015a, 2015b).

Na Ásia, além da China, a Indonésia é um importante exportador de PMVAs de teca, basicamente formada por móveis (Kollert; Kleine, 2017). Adicionalmente, o Vietnã é atualmente também um grande exportador de móveis de madeira, ocupando o sexto lugar no mundo, com US$ 4,6 bilhões de exportações em 2012. Grande parte dos móveis produzidos no Vietnã é baseada em toras e madeira serrada importada de teca (Midgley et al., 2015a, 2015b).

Preços de produtos de teca

Variáveis que afetam os preços

Informações de preços de produtos florestais são, na maioria dos casos, genéricas, envolvendo grupos de produtos e existe uma série de variáveis que podem criar discrepâncias, portanto, são necessários conhecimentos e cuidados na interpretação. No caso de teca, por exemplo, não existe um método único internacionalmente aceito para a mensuração de toras de madeira que possa permitir uma comparação confiável de preços entre negociações ou países.

Os volumes de toras podem ser calculados de várias maneiras, cada uma oferecendo um resultado legítimo (mas que pode ser diferente). O volume de madeira pode ser relatado em m^3 sobre a casca, mas o comprador pode precisar da quantificação em volume sem casca, volume com base na ponta fina, volume de bloco, peso ou unidade de volume em polegadas cúbicas. Podem ser ainda adotados fatores de redução do volume de madeira, em função de parâmetros de qualidade.

Informações confiáveis sobre os preços da madeira de teca, em particular das plantações de curta rotação, são escassas e os dados disponíveis são difíceis de interpretar e não permitem comparações prontamente. Existe ainda a variável qualidade, o grau de processamento (serrado, T-molding[6], seco, madeira e tora), localização no mercado (valor de madeira em pé, estrada rural secundária ou em pátios) e status de comércio (Free On Board (FOB), Cost, Insurance and Freight (CIF) e Cost and Freight (C&F))[7]. Estas variáveis normalmente não ficam claras nas informações de preços disponibilizadas, tornando as interpretações e as avaliações comparativas difíceis (Kollert; Kleine, 2017).

Assim, as informações disponíveis de preços de produtos de madeira, particularmente no caso de teca, podem apresentar uma alta variação e discrepâncias, considerando diferenças, particularmente em dimensões, qualidade, forma de negociação e outras. Além disto, existem distorções, como projeções de preços que, muitas vezes, são influenciadas pelos promotores de investimentos em plantios. Em alguns casos, estas distorções são propositais para a atração de investidores, com a adoção de premissas pouco realistas (Pandey; Brown, 2000; Camino; Morales, 2013; Kollert; Kleine, 2017).

Como regra geral, os preços da madeira em toras ou blocos crescem, principalmente, com o aumento da dimensão e com a melhoria da qualidade. A qualidade das toras de plantios é

[6] T-molding é um dos acabamentos de madeira que promove melhoria da decoração do ambiente e garante mais segurança para quem caminha, pois elimina as frestas e vãos entre os pisos.

[7] Preço FOB (*Free on Board*): o comprador/importador que paga pelo frete e pelo seguro da mercadoria. CIF (*Cost, Insurance and Freight*): o frete e o seguro são pagos pelo vendedor. C&F (*Cost and Freigh*) o frete é pago pelo vendedor.

afetada basicamente pela idade do plantio, pela taxa de crescimento e pelo manejo adotado. A variável dimensão da tora (diâmetro) é de fácil mensuração, tem correlação com a idade, que influencia as propriedades da madeira e o seu efeito decorativo (percentagem de cerne). Existem, no entanto, outros indicadores como a forma do fuste, a regularidade dos anéis de crescimento, a excentricidade da medula, o número de nós, textura, a sanidade, dentre outros (Kollert; Kleine, 2017).

Preços da madeira em tora e blocos

O preço das toras de madeira de teca depende, principalmente, da origem (florestas nativas ou plantações), das dimensões e da qualidade. A madeira de floresta nativa tem um crescimento mais lento e, por ser de uma rotação mais longa, é normalmente de maior dimensão, com maior porcentagem de cerne. Como resultado, os preços de mercado são significativamente maiores. De qualquer forma, a oferta de madeira em tora de floresta nativa de teca é atualmente muito pequena.

No caso de plantações, as toras de maior diâmetro (ou blocos/toras parcialmente esquadrejadas) têm preços duas a quatro vezes superiores em relação àqueles praticados em toras de menor diâmetro. Outras variáveis que afetam os preços incluem: forma do fuste (retidão e conicidade), existência de estrias e excentricidade da medula. São também levados em consideração defeitos como nós, fendas, dentre outros.

O cerne mais escuro da teca é o favorito no mercado. Em alguns casos, a madeira de alburno (mais clara) pode ser usada, mas a maioria dos mercados prefere uma proporção maior de cerne e, com isso, os preços de toras com maior ocorrência de cerne são mais altos. Por exemplo, em Laos, as toras com menos de 60% de cerne são classificadas como de qualidade B (segunda qualidade). O mesmo critério é adotado nas Ilhas Salomão, quando a participação do cerne é inferior a 50%.

O preço médio pago pela China, para toras de florestas nativas de teca, importadas no período 2005-2014, incluindo toras para laminados (de melhor qualidade) e toras de plantações, foi de US$ 641,00 m^{-3}. No caso da Índia, o preço foi inferior, em média US$ 478,00 m^{-3}. A partir do pressuposto de que o preço é relacionado à qualidade, a Índia possivelmente importa toras de qualidade inferior e, provavelmente, a maioria são toras de plantações de menores dimensões. Observa-se ainda que, ao longo das primeiras décadas dos anos 2000, os preços das importações de toras apresentaram um ligeiro aumento, embora na China tenham caído em 2014 (Kollert; Walotek, 2015).

As faltas de padrões e de consistências no estabelecimento de preços para toras de madeira de teca têm sido temas comuns e antigos nas discussões dos mercados internacionais. A maioria dos países e das regiões, incluindo produtores e importadores, tem seu próprio conjunto de especificações e regras de classificação, os quais diferem entre si.

Uma síntese das informações compiladas de preços (C&F) de toras de madeira de teca no mercado internacional, considerando várias fontes, é apresentada na Tabela 4. Como pode ser observado, como resultado da qualidade das toras, os preços variam significativamente. No caso de toras nativas (madeira de melhor qualidade), o preço pode chegar a quase US$4.000,00 m^{-3}, por outro lado toras de plantios e mais finas podem ter preços abaixo de US$500,00 m^{-3}.

Tabela 4. Preços de madeira em tora de teca no mercado internacional (2017).

Origem	Região	Especificação	US$ m^{-3} (C&F)
Nativa	Mianmar[1]	SG-4	3.900,00
		SG-5	2.780,00
		SG-6	2.250,00
		SG-7	1.710,00
Plantio (> 50 anos)	Índia	Shipbuilding	1.292,00
		Sawing	1.171,00
		Large girth	1.077,00
		Long length	922,00
		Short logs	560,00
Plantio (10-30 anos)	Média vários países[2]	Tora	498,00
	Brasil, Equador e Nigéria	Blocos	412,00

[1] Para Mianmar, considerar a unidade US$/H.ton.

[2] Angola, Belize, Benin, Brasil, Camarões, Colômbia, República Democrática do Congo, Costa do Marfim, Costa Rica, El Salvador, Gana, Guatemala, Guiana, Quênia, Laos, Libéria, Malásia, México, Nicarágua, Panamá, Papua Nova-Guiné, Sudão, Tailândia, Togo, Trinidade e Tobago, Uganda.

Fonte: ITTO (2016), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

O aumento do preço médio da tora de teca no mercado internacional iniciou antes da redução da oferta de madeira nativa de Mianmar, resultante das restrições à exportação de toras de madeira nativa impostas pelo governo em 2014. Este país que, no passado, dominava o mercado internacional de toras, perdeu sua participação e isto teve um grande impacto no mercado, principalmente, no mercado chinês. Naquele período, Mianmar era responsável

por 80% do suprimento de madeira em toras para a China e, com a queda na oferta do produto no mercado internacional, o preço de toras de teca nativas passou de uma média de US$ 750,00 m^{-3} em 2013 para US$ 2.000,00 m^{-3} em 2014 (Kollert; Walotek, 2015).

O impacto no preço das toras de madeira resultante da restrição imposta por Mianmar foi menor na Índia do que na China. A Índia é uma grande produtora de madeira de teca, mas atende apenas parte de sua demanda. É um mercado menos exigente em termos de qualidade e tem importado grandes volumes de madeira em toras e toras esquadrejadas (blocos), obtidas de plantações, principalmente da América Central e da América do Sul, com preços mais baixos.

De qualquer forma, a dependência de toras importadas gerou um aumento dos preços. As florestas nativas remanescentes de teca da Índia e da Tailândia foram, em maioria, transformadas em reservas de proteção ambiental (Kollert; Kleine, 2017). Neste cenário, a alternativa de suprimento de toras de teca passou a ser, então, as florestas plantadas de países asiáticos, particularmente da Indonésia e de países da África, da América Central e da América do Sul (Kollert; Kleine, 2017).

Com o aumento da demanda por madeira de teca para usos menos exigentes, os preços de toras de plantações vêm aumentando, assim como a lista de supridores para atender à demanda do mercado internacional. Nos últimos anos, ganharam importância fornecedores de madeira de teca em toras localizados em diversos países da África (Gana, Costa do Marfim, Benin, Togo, Nigéria e Tanzânia) e da América Latina (Equador, Costa Rica, Panamá, Colômbia e Brasil).

Embora a Índia seja ainda o maior importador de madeira em tora de teca, a importância da China vem crescendo. A China é o país maior importador mundial de madeira e, ao contrário da Índia, que tem priorizado o consumo doméstico, as importações da China se destinam, em sua maioria, para atender às indústrias moveleiras exportadoras.

Preços de madeira serrada

Como o comércio internacional de madeira serrada de teca é ainda pequeno, as informações sobre preços internacionais são ainda mais escassas que àquelas de toras. Na Tabela 5 é apresentada uma síntese das informações disponíveis de preços C&F de madeira beneficiada (serrada) de teca.

Tabela 5. Preços de madeira beneficiada (serrada) de teca no mercado internacional (2017).

Origem	Região	Especificação	USD m^{-3} (C&F)
Nativa	Mianmar	Export grade F.E.Q. A grade B grade	6.191,00 3.768,00 2.826,00
Plantio (> 50 anos)	Mianmar China	FAS Special grade	2.288,00 2.554,00
Plantio (10-30 anos)	Benin, Tanzânia e Uganda	Madeira serrada	498,00 412,00

Fonte: ITTO (2016), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

Os preços de madeira serrada no mercado internacional têm grandes variações. A madeira serrada, produzida com toras de teca de florestas nativas, pode atingir preços C&F superiores a US$ 6.000,00 m^{-3}. No caso de madeira serrada produzida a partir de toras de plantios jovens, o preço médio reportado é bem menor, em torno de US$ 650,00 m^{-3}.

Informações disponíveis indicam que o valor médio de todas as formas de madeiras serradas de teca, importadas pela China entre 2005-2014, foi US$ 760,00 m^{-3}. No caso da Índia, o preço de importação de madeira serrada foi mais baixo, em média US$ 437,00 m^{-3}. É surpreendente observar que o preço médio de importação da madeira serrada de teca relatado pela Índia esteja abaixo do preço médio de importação da madeira em tora, ou seja, US$ 475,00 m^{-3} (Kollert; Walotek, 2015).

Apenas alguns países na África e na América Latina processam parte das toras de suas plantações de teca em produtos semiacabados ou acabados (Kollert; Walotek, 2015). No Brasil, uma grande parte da madeira serrada de teca produzida é consumida no mercado doméstico, mas também ocorrem exportações (STCP Engenharia e Projetos, 2017).

O fato de a maior parte da madeira de teca ser comercializada no mercado internacional na forma de tora está relacionado à demanda da Índia por este produto. Este fato tem, em parte, limitado o crescimento do comércio mundial de madeira serrada e de produtos acabados de teca. Os detentores de plantações de teca na África e na América Latina têm argumentado que o retorno econômico é maior quando considerada a exportação de toras, comparado ao raio de produtos acabados (Kollert; Walotek, 2015).

Fatores que influenciam os preços

Além do conjunto de fatores aplicáveis a todo o comércio internacional, como flutuações no câmbio, regulamentos governamentais e mudanças nos regimes tributários e tarifas, existem outros que influenciam especificamente no comércio global da madeira de teca. Entre eles, segundo Midgley et al. (2015a, 2015b) estão: os padrões de qualidade, as dimensões, as formas de medição de volumes de toras de madeira, a logística e as práticas de comércio. Os principais fatores que afetam os preços, a aplicabilidade e os impactos, são sumarizados na sequência.

Padronização

Existem padrões definidos, mas eles variam dependendo das partes envolvidas, da negociação e de outras variáveis. Isto impacta nos preços, especialmente para toras de teca. Não existem regras globalmente estabelecidas de classificação de toras de teca, bem como para madeira serrada.

Medição de volumes de log

Não há um método único internacionalmente aceito, que padronize os procedimentos de medição de toras de teca e, como resultado, é difícil realizar a comparação de preços entre países e transações. Fatores de conversão foram desenvolvidos para facilitar a equalização, mas ainda não são aplicados universalmente.

Logística e comércio (carga fracionada a granel, contêineres)

No comércio internacional, existem desafios logísticos e diferenciados, dependendo da localização do exportador e do importador e, também, das facilidades disponíveis. As exportações podem ser feitas como carga fracionada a granel, em contêineres ou, por diferentes modais. A atratividade do negócio envolvendo as florestas plantadas de teca é altamente influenciada pela logística envolvida, bem como por regulamentos governamentais e serviços relacionados ao processo de exportação (tempo de liberação, impostos e taxas, procedimentos de alfândega e sanitários). As remessas internacionais de madeira de teca requerem, normalmente, conhecimentos específicos envolvendo atividades como conteinerização, transporte intermodal e despachantes de carga.

As remessas a granel oferecem vantagens em acomodar grandes volumes e toras de comprimentos longos e podem trazer uma economia considerável, sendo geralmente mais baratas que àquelas por contêiner. Além disto, podem ser executadas a partir de uma variedade maior de portos. Normalmente, o embarque a granel de toras de teca da África Ocidental para os portos no oeste da Índia custa cerca de US$100 m^{-3}, ao passo que os embarques, na mesma rota, em contêineres custavam cerca de US$125 m^{-3} (Midgley et al., 2015a, 2015b; Somaiya, 2015). Embora o embarque a granel ofereça eficiência e economia, pode ser um desafio para os produtores e comerciantes de teca, uma vez que é normal haver limitações no volume mínimo e, em geral, o limite inferior é de 3.000 m^3.

Diferenças de qualidade da madeira entre floresta nativa e floresta plantada de teca

As toras de madeira de teca de florestas nativas são, conforme já mencionado, em geral, de melhor qualidade. Para plantações é adotado um manejo para maximizar a produtividade e reduzir o tempo da rotação. Com isso, as toras de florestas plantadas são normalmente de menor diâmetro e menor proporção de cerne e, como resultado, os seus preços são menores.

No entanto, existem diferenças mesmo entre madeiras de toras de plantações de diferentes origens. Por exemplo, existem plantios de teca com baixo incremento e, consequentemente, de rotações mais longas (> 50 anos), como ocorre na Indonésia, na África Oriental e em Trinidade e Tobago. Estes plantios produzem madeiras de melhor qualidade e, como resultado, os preços no mercado internacional de madeira de plantações destas origens são maiores que a média praticada para a madeira oriunda de florestas plantadas.

Uma síntese de fatores ou particularidades que influenciam nas negociações de preços para toras de teca procedentes de plantações pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6. Síntese dos fatores que afetam os preços de toras de madeira de florestas plantadas de teca.

Fatores	Descrição
Dimensões das toras	Os preços das toras de maiores dimensões, mesmo àquelas procedentes de plantações, podem ser duas a quatro vezes maiores que os preços de toras de pequeno diâmetro.

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Fatores	Descrição
Forma da tora e defeitos	Retidão, afilamento e excentricidade da medula têm impacto no aproveitamento da madeira serrada e, portanto, nos preços oferecidos. Defeitos como nós, rachaduras causadas na colheita e outros também são levados em consideração.
Cerne	Cerne mais escuro é um diferencial e uma preferência nos mercados por terem um maior efeito decorativo. Na maioria dos casos, as toras são depreciadas se houver excesso de alburno.
Insetos e fungos	As toras e os carregamentos de toras devem estar livres de insetos e fungos. Além de possíveis danos à qualidade da madeira, os insetos e os fungos podem apresentar problemas fitossanitários que exigem procedimentos caros de quarentena.
Propriedades da madeira	Existem diferenças nas propriedades da madeira entre teca nativa e a teca madura de plantios e a teca jovem de plantios. Essas diferenças são destacadas quando se trata de toras de pequeno diâmetro e crescimento rápido de plantações, levando à redução dos preços.
Cor de madeira	A cor da madeira também influencia os preços. A cor é afetada pelo genótipo, pelas condições do local de crescimento, dentre outras variáveis. Fontes tailandesas relatam que a cor da madeira de teca de florestas nativas, situadas em locais mais úmidos ao longo das margens de rios ou em florestas úmidas, é geralmente mais escura. Em Laos, os artesãos consideram que a madeira de teca cultivada em solos aluviais ricos tem propriedades de resistência inferiores em comparação com a teca de crescimento mais lento, cultivada em região montanhosa.
Restrição de extração	A proibição de exportação de toras de Mianmar, estabelecida em 2014, é um exemplo do impacto significativo de restrições impostas por governos na evolução dos preços das toras de teca. Para avaliar o impacto da proibição, foram analisadas e avaliadas as alterações mensais nos volumes e nos valores comerciais extraídos da base de dados do Serviço de Informação de Comércio Global.
Percepção dos consumidores	A teca de floresta nativa tende a produzir madeira mais escura, mais densa, com uma proporção maior de cerne e é considerada mais resistente pelos consumidores que a teca de crescimento rápido. No entanto, a oferta de madeira de teca de plantios tem aumentado e continuará aumentando sua participação no mercado global. A utilização de clones de rápido crescimento, os quais também produzem madeira de melhor qualidade e decorativa, poderá atingir preços maiores no mercado.

Fonte: International Tropical Timber Organization (2016), adaptado por STCP Engenharia e Projetos (2017).

Políticas e regulamentos relacionados à comercialização de teca

Entre as políticas e regulamentos mais relevantes que limitam a comercialização da madeira de teca estão as proibições relativas às exportações de madeiras em toras de origem de florestas nativas e as taxações de transações comerciais. Alguns países adotam, por exemplo, a não taxação de importações de toras, mas adotam tarifas de importação entre 10% e 15% para produtos processados baseados em madeira de teca.

Um exemplo de uma alteração importante nas políticas e nos regulamentos foi a mudança relacionada à facilitação da comercialização de teca, adotada pela Índia em 1992, envolvendo requerimentos para o licenciamento de importação de toras. Como resultado deste processo de simplificação, atualmente a Índia importa grandes volumes de toras de teca.

Há também leis e regulamentos relativos à legalidade da madeira e à proteção de espécies florestais. As espécies florestais protegidas são listadas nos apêndices da Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), de maneira a combater extrações e os comércios ilegais de madeiras, bem como conservar as espécies e os ambientes ecológicos. Essas regras e proteções levaram alguns exportadores a deliberadamente sub-reportarem ou não relatarem as quantidades exportadas de madeira, além do uso de outras práticas para evitar altas taxas ou outras restrições (Liu et al., 2020).

Mianmar e Índia são tradicionalmente as principais fontes de madeira de teca nativa em nível comercial, nos mercados internacionais. Em 1980, a Índia impôs proibição de exportação de madeira em toras e madeira serrada. Isso teve impacto na proibição de exportação da teca provenientes de floresta nativa, o que provocou aumento na expectativa de suprimento de madeira de teca de plantios (Kollert; Kleine, 2017).

O fato importante mais recente que afetou a comercialização de madeira de teca foi a proibição imposta por Mianmar, para exportação de toras de florestas nativas (2014). Como resultado, a oferta mundial de toras de teca de melhor qualidade diminuiu e os preços das toras de teca nativas aumentaram. Por outro lado, a proibição criou uma oportunidade de mercado para fornecedores internacionais de teca de plantações da África e da América Latina (Kollert; Kleine, 2017). A proibição de exportação de toras em Mianmar teve um maior impacto no mercado chinês, que importava 80% da teca daquele país.

De forma geral, os mercados globais de madeira vêm se tornando cada vez mais sensíveis aos aspectos relacionados à legalidade e à origem sustentada. Como resultado, surgiram

diversas iniciativas de governos introduzindo sistemas regulatórios como o Forest Legality Initiative - US Lacey Act, nos Estados Unidos, o Regulamento de Comércio Internacional sobre a Madeira da União Europeia (European Union Timber Regulation - EUTR), a Lei de Proibição de Extração Ilegal de Madeira da Austrália, dentre outras. O setor privado, incluindo compradores e varejistas, vem adotando os princípios da certificação, buscando garantias de sustentabilidade e de produção ambientalmente responsável.

O US Lacey Act é uma lei dos Estados Unidos de 1900, a qual foi alterada em 2008, para incluir vegetais e seus produtos, como é o caso da madeira. Esta legislação histórica é a primeira a impor restrições ao comércio de produtos de madeira de origem ilegal. A emenda US Lacey Act (2008) exige que os importadores de produtos de madeira e subsequentes agentes envolvidos na cadeia produtiva tenham o devido cuidado (due care) para garantir que a madeira seja de origem legal. O US Lacey Act estabelece que é ilegal importar, exportar, transportar, vender, receber, adquirir ou comprar em comércio interestadual ou internacional qualquer planta, em violação às leis dos Estados Unidos ou qualquer lei estrangeira relacionadas às espécies madeireiras, dentre outras. Nas importações de madeira pelos Estados Unidos, é exigida documentação que comprove que a madeira é de origem legal (United States, 2020).

A União Europeia (UE) desenvolveu o Plano de Ação de Aplicação da Lei Florestal, Governança e Comércio (Forest Law Enforcement, Governance and Trade - FLEGT) para estimular medidas visando excluir a madeira ilegal dos mercados, promover o fornecimento de madeira legal e aumentar a demanda por produtos de madeira de fontes legais. Os dois principais elementos desse plano de ação envolveram o desenvolvimento do EUTR e a promoção de acordos de parceria voluntária (APV). Os APVs são acordos bilaterais entre a UE e os países exportadores de madeira que ajudam a prevenir que madeira ilegal seja colocada no mercado europeu (European Union, 2010).

Atualmente, os países que já aderiram aos APVs são: Gana, Indonésia, Libéria, República do Congo e Vietnã. A Indonésia foi o primeiro país do mundo a firmar o APV e obter licença FLEGT, que pode certificar a legalidade das suas exportações. Gana também está em um estágio avançado de implementação do APV. Entre os países que estão negociando os FLEGT/APVs estão: Costa do Marfim, República Democrática do Congo, Gabão, Laos, Malásia e Tailândia (FLEGT, 2020). Por outro lado, a Índia (maior importador global de teca) e a China (o maior fabricante global de móveis) têm mostrado pouco interesse em adotar medidas de "comprovação de legalidade" mais robustas sobre a madeira importada. Não há, aparentemente, forte pressão por parte dos mercados em que esses países atuam, para adotar estas medidas (Midgley et al., 2015a, 2015b).

De qualquer forma, tanto a certificação da legalidade quanto a de manejo florestal têm se tornado cada vez mais importantes no mercado de madeira de teca. A certificação do manejo florestal é voluntária e existem dois sistemas internacionais relevantes, o Programa de Endosso de Certificação Florestal (Programme for the Endorsement of Forest Certification - PEFC) e Conselho de Manejo Florestal (Forest Stewardship Council - FSC®).

Governos, compradores e varejistas, principalmente nos países ocidentais, têm se envolvido com a certificação do manejo florestal e da cadeira de custódia, como mecanismo para promover a sustentabilidade dos recursos. Os produtores e processadores de madeira de teca têm sido incentivados a buscar esquemas de certificação voluntária para atender aos padrões ambientais, sociais e econômicos de manejo florestal responsável e garantir o acesso aos mercados (Midgley et al., 2015a, 2015b; Kollert; Kleine, 2017).

A teca é amplamente demandada nas indústrias de móveis, algumas das quais não são influenciadas por tais questões, enquanto outras são mais sensíveis às exigências de legalidade e de certificação. Na realidade, a certificação ainda não é determinante em alguns mercados importantes para teca, tal como a Índia, que não está disposta a pagar por esses custos adicionais (Kollert; Kleine, 2017). No entanto, essa situação deverá mudar no futuro próximo. Informações sobre a certificação de madeira de teca são apresentados em outro capítulo deste livro.

Considerações finais

As florestas nativas de teca compreendem aproximadamente 29 milhões de ha, distribuídas em vários países asiáticos que, por muitos anos, foram os principais responsáveis pelo suprimento de madeira de teca. Entretanto, com o aumento dos questionamentos relacionados à sustentabilidade da produção de madeira de teca de florestas nativas, restrições impostas por diversos países limitando o acesso a estes recursos têm impactado nos preços da madeira de florestas nativas. Como resultado, a demanda futura deverá ser concentrada em madeira proveniente de plantações. As florestas plantadas vêm ganhando mercado e existe possibilidade de aumentar a sua participação, considerando o fato que existem aproximadamente 7 milhões de ha de plantios de teca localizados na Ásia, na África e na América Latina.

O mercado global de madeira vem se tornando cada vez mais sensível em não adquirir madeira proveniente de fontes ilegais e não sustentada. Empresas e consumidores deverão

cada vez mais aumentar a adoção de padrões de verificação voluntária (certificação florestal/cadeia de custódia), e os governos continuarão a introduzir sistemas de conformidade regulatória. Estas iniciativas certamente influenciarão o mercado no futuro.

A produtividade de madeira dos plantios de teca é elevada em alguns países, tais como: Brasil, Gana e Costa Rica. As altas produtividades contribuirão para melhorar a competitividade de madeira de teca procedente de plantações. Existe espaço para ganhos de produtividade em vários países. A maioria das plantações de teca, na realidade, ainda tem produtividade relativamente baixa. Entretanto, os usos de melhoramento genético, de técnicas de plantio e de manejo sustentável podem melhorar significativamente a produtividade, aumentando a oferta de madeira competitiva de plantações florestais.

A demanda de teca ao longo dos próximos anos deverá continuar a ser concentrada na Ásia. No entanto, devido à excelente qualidade da madeira de teca, tanto em termos decorativos como de propriedades físicas e mecânicas, novos mercados deverão ser abertos ao longo das próximas décadas.

Referências

CAMINO, R.; MORALES, J. P. (ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo Turrialba, 2013. 392 p. (CATIE. Serie técnica: Boletín técnico, 397).

EUROPEAN UNION. The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation n. 995/2010 of 20 October 2010. Laying down the obligations of operators who place timber and timber products on the market. **Official Journal of the European Union**, n. 295, p. 23, 2010. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010R0995. Acesso em: 19 ago. 2020.

FLEGT. **FLEGT licensed timber**: essencial information: FLEGT and VPA countries. 2020. Disponível em: http://www.flegtlicence.org/vpa-countries. Acesso em: 21 set. 2020.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Annual review and assessment of the world timber situation**. Yokohama, Japan, 2010. 186 p. Disponível em: http://www.itto.int/annual_review/. Acesso em: 22 ago. 2020.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Encouraging industrial forest plantations in the tropics report of a global study**. Yokohama, Japan, 2009. 143 p. (ITTO. Technical series, 33). Disponível em: https://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=2165&no=0&disp=inline. Acesso em: 21 jul. 2020.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical Timber Market Report**, v. 20, n. 14, 23 p., 2016. Disponível em: https://itto-d2.r-cms.jp/files/user/mis/MIS_1-31_August2016.pdf. Acesso em: 4 fev. 2021.

KAOSA-ARD, A. Teak its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 29, p. 55-74, 1989. Disponível em: https://thesiamsociety.org/wp-content/uploads/2020/04/NHBSS_029_g_KaosaArd_TeakTectonaGrand.pdf. Acesso em: 25 jun. 2020.

KATWAL, R. P. S. Teak in India: status, prospects, and perspectives. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY TIMBER PRODUCTS OF TEAK FROM SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, 2003, Peechi, India. **Proceedings** [...]. Peechi: Kerala Forest Research Institute, 2003. p. 1-18. Editores: BHAT, K. M.; NAIR, K. K. N.; BHAT, K. V.; MURALIDHARAN, E. M.; SHARMA, J. K.

KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. **Teak resources and market assessment 2010**. Rome, Italy: FAO, 2012. 52 p. (FAO. Planted forests and trees working paper, FP/47/E). Disponível em: http://www.fao.org/3/an537e/an537e00.pdf. Acesso em: 2 fev. 2021.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study: analysis, evaluation, and future potential of teak resources**. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO world series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KOLLERT, W.; WALOTEK, P. J. **Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban**. Rome, Italy: FAO, 2015. 36 p. (FAO. Planted forests and trees working paper series, 49). Disponível em: http://www.fao.org/3/a-i5023e.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

LIU, F.; WHEILER, K.; GANGULY, I.; HU, M. Sustainable timber trade: a study on discrepancies in chinese logs and lumber trade statistics. **Forests**, v. 11, n. 205, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/f11020205.

MIDGLEY, S.; MOUNLAMAI, K.; FLANAGAN, A.; K. PHENGSOPHA, K. **Global markets for plantation teak**: implications for growers in Lao PDR. Australian: ACIAR, 2015a. 74 p. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/Jinesh_php/Midgley%20et%20al.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; NGUYEN, D. K.; LAITY, R. **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Canberra: ACIAR, 2015b. 92 p. (ACIAR. Technical reports, 85). Disponível em: https://aciar.gov.au/publication/technical-publications/planted-teak-global-production-markets. Acesso em: 20 jun. 2020.

PANDEY, D.; BROWN, C. La teca: una visión global. **Revista Internacional de Silvicultura y Industrias Forestales**, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000. Disponível em: http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/x4565s/X4565s02.PDF. Acesso em: 2 set. 2020.

PANDEY, D. **Estimating productivity of tropical forest plantations by climatic factors**. Umea, Swedish: Swedish University of Agricultural Sciences, 1996. 93 p. (Swedish University of Agricultural Sciences. Report, 7). Disponível em: https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/443124. Acesso em: 09 abr. 2021.

SMIT, L.; OESTREICH FILHO, E. **Key factors for optimizing teak growth, a case study in Tangara da Serra, Brazil**. Conference Presentation. Tectona Agroflorestal. 2014. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/teaknet2014/Session%20IV/conf_2.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

SOMAIYA, R. T. Appendix 2. Market opportunities for teak grown in the Solomon Islands. In: MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; KIEN, D. D.; LAITY, R. (ed.). **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Australian: ACIAR, 2015. 94 p. (ACIAR. ACIAR technical reports, 85). Disponível em: https://aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/tr85-web.pdf. Acesso em: 16 set. 2020.

STCP ENGENHARIA E PROJETOS. **Formação de mercados e preços para toras de teca de floresta**.Curitiba, 2005. (STCP. Relatório técnico confidencial).

STCP ENGENHARIA E PROJETOS. **Informações sobre teca**. Curitiba, 2017. (STCP. Relatório técnico confidencial).

UGALDE ARIAS, L. A. (ed.) **Teak**: new trends in silviculture, commercialization and wood utilization. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforestry, 2013. 552 p.

UNITED NATIONS. **Forest products**: annual market review 2011-2012. New York and Geneva: United Nations, 2012. 178 p. (United Nations. Geneva timber and forest study paper, 30). Disponível em: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/FPAMR_2012.pdf. Acesso em: 3 set. 2020.

USDA. United States of Department of Agriculture. **The Lacey Act**: Chapter 53-control of illegally taken fish and wildlife. 2020. Disponível em: https://uscode.house.gov/view.xhtml?path=/prelim@title16/chapter53&edition=prelim. Acesso em: 11 ago. 2020.

VERHAEGEN, D.; FOFANA, I. J.; LOGOSSA, Z. A.; OFORI, D. What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis* L.) introduced in Africa and in Indonesia? **Tree Genetics & Genomes**, v. 6, p. 717-733, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0286-x.



3

Histórico da evolução da teca no Brasil e visão de futuro

Fausto Hissashi Takizawa
Sidney Fernando Caldeira

Introdução

Tectona grandis L. f., conhecida como teca, é a espécie tropical mais plantada no mundo para a produção de madeira "dura" de qualidade e este produto está entre os mais valorizados no mercado. Entre os usos de sua madeira, destacam-se: construção naval, esquadrias e móveis para uso externo. Esta preferência está associada, principalmente, às características naturais de durabilidade, pois apresenta resistência ao ataque de insetos e de fungos, bem como estabilidade dimensional da madeira, em razão da baixa expansão ou retração às variações de umidade, além da beleza da madeira, associada à sua coloração, com fácil distinção da cor entre o cerne e o alburno, e com desenho visível dos anéis de crescimento.

Estas qualidades, com algumas variações, também estão presentes em outras espécies folhosas tropicais. Ainda assim, a área mundial plantada com todas estas espécies é pequena em relação aos 74% plantados exclusivamente com a teca (Keogh, 2013). Ainda que não existam dados estatísticos detalhados, Kollert e Kleine (2017) utilizaram diversos estudos para estimar a área das florestas plantadas com a espécie, situada entre 4,35-6,89 milhões de ha. Estes autores também destacaram o decréscimo na produção de toras de teca das florestas naturais no sudeste Asiático, particularmente na extração de árvores mais longevas e produtoras de madeira de melhor qualidade.

A maior preferência pela teca também se apoia no conhecimento silvicultural e, em algumas de suas características, em relação às outras espécies tropicais. Enquanto a maioria apresenta crescimento do tipo simpodial, o da teca é monopodial e isso resulta na formação de fustes eretos. Não há também registro de interações bióticas como causas impeditivas ao cultivo da espécie. Finalmente, o crescimento relativamente rápido resulta em menor período de rotação e isso reflete no retorno de investimentos financeiros, complementarmente ao valor da madeira.

Pouco conhecimento silvicultural disponível para o cultivo homogêneo, o crescimento simpodial, as interações bióticas desfavoráveis e o crescimento lento são as principais dificuldades registradas para a maioria das espécies tropicais autóctones. Como exemplo podem ser citados: o crescimento simpodial que afeta a forma do fuste de *Torresia acreana* Ducke, a cerejeira, e dos ipês, *Handroantus* spp. A ação da mariposa noturna *Hypsipylla grandella* Zeller impossibilita o cultivo de *Swietenia macrophylla* King, o mogno brasileiro e dos cedros, *Cedrella* spp., ainda que apresentem crescimento monopodial. O crescimento lento foi relatado para *Mezilaurus itauba* (Mez.) Taub., a itaúba e para a aroeira, *Myracrodruon urundeuva* Allemão, cerca de 4 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

O preço da madeira de teca é bastante variável, principalmente em razão da origem ser natural ou plantada, do tipo, da qualidade e da dimensão da peça, além da proporção de alburno presente. Em 2006, segundo a Secretaria de Fazenda do estado de Mato Grosso, toras de corte final, oriundas de árvores com mais de 30 anos de idade, alcançaram em média US$ 900,00 m^{-3} Free on Board (FOB) (Mato Grosso, 2006). Consideradas como de qualidade excepcional, essas toras foram exportadas para indústria de faqueados na Alemanha. Em novembro de 2020, segundo a International Tropical Timber Organization (ITTO, 2020), os preços de toras e de blocos procedentes de desbastes de plantações do Brasil oscilavam respectivamente entre US$ 344,00 a US$ 540,00 e de US$ 333,00 a US$ 556,00 m^{-3} Custo e Frete (C&F). Os valores atualmente praticados são registrados como estáveis e referentes ao período pré-pandemia.

Acerca do preço da madeira de teca, para a maioria dos exportadores, a cubagem é efetuada na unidade Hoppus, cerca de 77% do volume em m^3. Aos preços informados pelo ITTO está incorporado o custo de frete marítimo, em torno de US$ 100,00 m^3 $Hoppus^{-1}$. Ainda é necessário considerar os custos do frete terrestre até o porto de exportação, descarga, acondicionamento em contêiner, fumigação, certificação fitossanitária, fiscalização alfandegária e a movimentação pelo porto até o costado do navio. Como a maioria dos produtores de teca não executa diretamente a exportação, ainda é necessário considerar o custo de terceiros ou intermediários envolvidos entre o produtor e o importador.

Questões de ordem tributária e contábil também devem ser consideradas pelo produtor de teca. A concentração dos investimentos ocorre na implantação e nos tratamentos silviculturais dos primeiros anos, principalmente nas desramas e nos dois primeiros desbastes. A produção de toras de teca é uma atividade de longo prazo, 20 anos ou mais para material seminal e o maior volume e de maior valoração estão associados ao corte final. Ainda que o mercado indiano adquira toras acima de 16 cm de diâmetro com casca ou 14 cm sem casca, essa dimensão não ocorre em toras do primeiro desbaste e é ocasional no segundo desbaste. Com os valores de custos e receitas do investimento sendo atualizados, a rentabilidade na colheita final pode ficar muito baixa, principalmente quando a taxa de juros é alta. Assim, mesmo com alíquotas menores, o imposto sobre a renda da venda do produto do corte final pode representar cerca de 34%, enquanto em outros países, onde o valor do investimento é representativo, o valor do imposto representa em torno de 22% sobre a renda da venda.

Na atividade silvicultural, as maiores limitações ao plantio estão relacionadas ao sítio, pois a teca é calcífila e caducifólia, não tolera excesso de umidade do solo e necessita de solos profundos, férteis e de textura média. Apresenta também menor crescimento

em locais com temperatura média inferior a 20 °C e com altitude superior a 500 m. As geadas queimam a ponteira das árvores e o consequente excesso de brotação na parte não afetada piora a qualidade do fuste, exige poda para controle da rebrota e retarda o crescimento. Esses efeitos são mais significativos nos primeiros anos, até o fechamento do dossel (Caldeira, 2013; Medeiros, 2016). De modo geral, o produto do primeiro desbaste é vendido como lenha para energia e uma parte do segundo desbaste poderá atingir a dimensão aceita pelo mercado indiano. A seleção para a remoção de tora nos desbastes deve priorizar aquelas de pior qualidade de fuste e de menor diâmetro e, assim, aumentar o valor das árvores remanescentes para os próximos desbastes e o corte final.

O conhecimento silvicultural para plantios homogêneos, crescimento retilíneo, crescimento relativamente rápido e alto valor da madeira não estimularam o plantio da teca no Brasil, até meados da década de 1990, ainda que a sua introdução tenha sido no início do século passado, juntamente com o eucalipto, enquanto as espécies de pinus foram introduzidas em meados do século passado. Estas duas espécies, com maior tradição silvicultural e com maiores áreas de plantio no País, foram inicialmente utilizadas para atender demandas específicas na região Sul e Sudeste, principalmente como fonte de energia e polpa de celulose. Complementarmente, a política brasileira de incentivos fiscais ao reflorestamento, instituída pela Lei nº 5.106 em 1966 e revogada em 1974, representou estímulo significativo para o estabelecimento de plantios comerciais e de pesquisas com essas espécies

Neste período, dentre outras espécies tropicais, o mogno brasileiro era a principal espécie nativa fornecedora de madeira de qualidade, extraída principalmente das florestas autóctones localizadas na região sudoeste do estado de Mato Grosso. Além do fato de que, nas regiões Sul e Sudeste, não haver predominância de condições climáticas adequadas ao cultivo da teca. É crível que todo este cenário não estimulou o plantio de qualquer espécie folhosa no Brasil, tanto autóctones como alóctones.

Os plantios com essas espécies ficaram restritos às pesquisas, mesmo com o conhecimento da expansão do plantio de teca no mundo. Na Ásia, a primeira plantação de teca foi no Sri Lanka, no final do século XVII, e existe registro fotográfico de Robert Scott Troup, de uma plantação efetuada em 1847, em Nilambur, na Índia, e registro de A. Rodge, de uma das mais velhas plantações de teca em Mianmar, antiga Burma, implantada em 1864; na África, a teca foi plantada na Nigéria em 1902, em Gana 1905 e na Costa do Marfim em 1929; na América Central, em Trinidade e Tobago e no Panamá em 1913, em Honduras, Panamá e na Costa Rica entre 1920 e 1929, além das muitas ilhas das regiões do Pacífico e no norte da Austrália (Howard, 1920; Pandey; Brown, 2000; Keogh, 2013; Kollert; Kleine, 2017;

Pachas et al., 2019; Naing, 2020). Na América do Norte, as plantações ficaram restritas ao México, entre 1950 e 1960 (Proteak, 2017), sendo que as plantações comerciais se expandiram somente a partir de 2001 (Situación..., 2016). Na maioria dos países da América do Norte e do Continente Europeu, não há registros de plantações de teca, o que deve estar relacionado com as limitações climáticas.

Quando a teca é comparada com outras espécies tropicais de madeira nobre, destacam-se as seguintes vantagens: demanda segura e consistente no mercado internacional, qualidade da madeira, amplo conhecimento silvicultural, facilidade para o cultivo homogêneo, crescimento monopodial, rusticidade aos fatores bióticos e rápido crescimento. Mesmo assim, foram 25 anos do primeiro plantio comercial no Brasil para que a espécie expandisse de forma significativa, em seguida, mais dez anos para surgirem os primeiros plantios clonais e, atualmente, o Brasil é importante player na tecnologia do cultivo e da produção de madeira de teca. A compreensão dos fatos de como a teca se estabeleceu e se expandiu no Brasil é a base para entender as tendências e atender aos desafios que se apresentam continuamente aos envolvidos com a espécie.

Este capítulo, portanto, tem o objetivo de registrar os principais fatos, datas e personagens para compreender o atual estágio da cultura da teca no Brasil e, também, inferir sobre importantes questões para o futuro e proporcionar fonte de informações para aqueles que buscam soluções para a melhoria da produção da teca no Brasil.

Pioneirismo e abnegação

No Brasil, a primeira citação técnica sobre a teca foi efetuada por Sampaio (1930), que comparou a "teca do Brasil", *Dicorynia paraensis* Benth, com a "teca da Índia", *Tectona grandis* L. f. O autor destacou o primeiro plantio da espécie alóctone efetuado em 26 de setembro de 1925, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Figura 1), além de relatar sua visita efetuada à linha plantada com teca no Horto Florestal de Rio Claro, São Paulo, cuja introdução havia sido efetuada por Edmundo Navarro de Andrade. Finalmente, destacou o maior crescimento da "teca da Índia" em ambas as localidades. Com abordagem semelhante, Aranha e Brotero (1939) caracterizaram a teca e a sua madeira, que foi comparada com a madeira de *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaudich. ex Benth. & Hook f., conhecida como taiúva ou tatajuba, para a construção naval e concluíram que a madeira da espécie autóctone apresentava características para substituir a espécie alóctone.



Figura 1. Foto de uma árvore de teca, com 5 anos de idade, dentre as primeiras plantadas no Brasil (A) e de um grupo de árvores no Horto Florestal do Rio de Janeiro (B).
Fonte: Sampaio (1930).

Somente no final da década de 1950, foi publicado outro material técnico sobre teca, com a descrição da exploração de sua madeira na Tailândia, à época denominada Sião, que tratava desde os contratos de concessões, modos de exploração, transporte e vendas (Decamps, 1959). Este trabalho foi uma tradução da versão original de Decamps (1955), publicada na revista *Bois et Forêts des Tropiques*.

Ainda que não existissem outros registros sobre a teca no Brasil, em 1958, o professor Helladio do Amaral Mello se entusiasmou com a espécie e iniciou o primeiro ensaio silvicultural em plantação homogênea na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), em Piracicaba, SP. As sementes foram coletadas em árvores da Usina Tamoio, em Araraquara, SP e semeadas em agosto. As mudas, aos 60 dias após a semeadura, foram transplantadas para o "torrão paulista", tipo de embalagem utilizado à época e o plantio no campo foi realizado em fevereiro de 1959. Os dados de crescimento foram registrados em 1962 e 1963 e o autor concluiu que a espécie apresentava "desenvolvimento bastante promissor" e "bem superior aqueles das espécies indígenas produtoras de boas madeiras" (Mello, 1963).

Fato de destaque à época foi a criação, em maio de 1960, do primeiro curso de Engenharia Florestal e da Escola Nacional de Florestas (ENF), em Viçosa, MG, na Universidade Rural do

Estado de Minas Gerais (UREMG). A ENF foi transferida em março de 1964 para a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e, no mesmo mês, a UREMG criou a Escola Superior de Florestas. Em 1967, foi criado o Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal (IBDF), extinto em 1989, com a criação do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), ao qual foi incorporado.

Em 1961, a empresa familiar "Serraria Cáceres" foi constituída em Cáceres, MT, para desdobrar e exportar a madeira da "araputanga" ou "mogno". À época, a região sudoeste de Mato Grosso se encontrava em processo de colonização rural e, com a remoção das florestas, havia disponibilidade de matéria-prima. Contudo, o estoque era limitado e a previsão de oferta estimada entre 10-15 anos. À época, a empresa avaliou na região de ocorrência natural, o volume disponível em torno de 0,5 m^3 ha^{-1}. Ainda assim, o valor desta madeira suportava os elevados custos de abertura de estradas, derrubada de árvores, corte das toras e transporte à serraria que, após desdobro, ainda seriam transportadas por cerca de 2 mil km de estradas precárias até o porto de Santos, SP. Ainda assim, uma parte significativa das árvores de mogno e de outras espécies da região foi queimada, como prática comum na colonização à época.

Como parte do núcleo familiar, em 1968, o engenheiro agrônomo Luis Flávio Veit iniciou ensaios de competição entre espécies autóctones e alóctones com o objetivo de estabelecer plantios florestais e garantir a oferta futura de matéria-prima. A teca se destacou e foi a espécie selecionada. Preocupado com a qualidade do material genético, as sementes foram importadas do Forestry Conservator - Ministry of Agriculture de Trinidade e Tobago. O material selecionado na pesquisa tem a origem geográfica em Mianmar (antiga Burma), denominado "Tenasserim". A implantação dos povoamentos iniciou em 1971 (Cáceres Florestal, 2019). Detalhes das florestas de teca de Trinidade e Tobago, fonte das sementes para as primeiras plantações da Cáceres Florestal, foram descritos por Lamb (1955), com discriminação do histórico, do plano de manejo, do crescimento e das práticas silviculturais.

Fato relevante foi o incêndio florestal que atingiu o estado do Paraná em 1963. Tortorelli (1964) citado por Alvares et al. (2014), apresentou dados relevantes sobre a dimensão do fato, com a morte de quase uma centena de pessoas e destruídos cerca de 2 milhões de ha de florestas, assim distribuídos: 1,5 milhão de ha de florestas secundárias, 500 mil ha de florestas primárias, além de 20 mil ha de plantações de araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze).

À época, foram apresentados por Pitt (1969), os resultados de métodos de regeneração artificial com espécies autóctones e alóctones, por enriquecimento em algumas florestas

da Amazônia e por plantações com estas espécies. A teca foi uma das espécies alóctones escolhidas e, no enriquecimento em linha, foi classificada dentre as espécies que "falharam ou se desenvolveram muito mal", enquanto no plantio em descampado foi qualificada como promissora, com 73% sobrevivência. Foram plantadas mudas do tipo "toco" e, aos 31 meses após o plantio, a altura média era 5,1 m.

No final da década, em 1969, iniciaram as atividades da empresa Jari Florestal no Pará. Segundo Fearnside e Rankin (1979), dez anos depois, dos cerca de 100 mil ha desmatados, cerca de 60 mil ha eram monocultura com gmelina (*Gmelina arborea* Roxb. ex Sm). Os autores informaram que, em razão da ação de pragas na gmelina, principalmente a ação de lagarta desfolhadora e do fungo *Ceratocystis fimbriata*, novas espécies estavam em estudo, entre elas a teca, tomando-se por base as experiências da Estação Experimental de Curuá-Una.

Em 1970, o Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Esalq, ministrava aulas sobre a cultura da teca, com abordagem sobre o valor da madeira, origem da espécie e clima para cultivo, além das técnicas de propagação, plantio, tratos culturais, rendimento e utilização da madeira (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1970). Em 1974, em Cuiabá, MT, foi elaborada a proposta de criação do curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) que se iniciou em 1975. Atualmente na região Centro-Oeste existem dez cursos, sendo quatro em Mato Grosso. Em 2001, foi criado pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) na cidade de Alta Floresta, MT; em 2006 em Sinop, MT no campus da UFMT e, em 2008, na cidade de Cáceres, MT pelo Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT).

Em convênio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization – FAO) e o extinto IBDF, em 1973, foi instituído o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef), onde a teca foi elencada dentre as espécies potenciais para pesquisa, principalmente para estudos relacionados aos ensaios de espaçamento e desbaste (Jacobs, 1973). Com apoio do Prodepef, Golfari et al. (1978) apresentaram a proposta de zoneamento ecológico para reflorestamento no Brasil e destacaram, em Mato Grosso, a existência de 267 ha com plantações de teca na Cáceres Florestal. Citaram que, nos talhões com idades entre 1-8 anos, os destaques eram o crescimento e a forma do fuste das árvores, além da potencialidade da espécie para regiões tropicais com clima subúmido, úmido e subúmido seco.

Em 1973, com sementes fornecidas pela Danish International Development Agency (Danida), foram instalados ensaios de procedências de teca na Tailândia, sudeste da Ásia,

América Central, oeste da África, e no Brasil, na antiga empresa Aracruz (atual Suzano), estado do Espírito Santo. Foram testadas procedências da Índia, de região seca, úmida e semiúmida, da Tailândia, do Laos, da Indonésia, além de raças tradicionais da África. O primeiro relato parcial foi apresentado por Pinto Júnior e Jacob (1979), aos seis anos de idade, que destacaram o desempenho em altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume ha^{-1} do material genético da Indonésia, denominado "Ngliron", da Tailândia "Ban Maekut Luang" e duas procedências da Índia, "Konni" e "Nilambur".

Keiding et al. (1986) apresentou a primeira avaliação internacional deste ensaio de procedências, aos nove anos de idade, com análise das características quantitativas (altura, DAP e área basal) e das características qualitativas, as quais receberam pontuações padronizadas, com análise de desempenho das procedências nas regiões testadas. Na segunda avaliação internacional, aos 17 anos de idade, Kjaer et al. (1995) concluíram que as procedências da Índia úmida e da Indonésia tinham melhor adaptação ao longo prazo, em relação às procedências de Laos e da Tailândia. Contudo, para a qualidade da forma de fuste e persistência do eixo terminal, as procedências da Tailândia foram superiores. Quanto à produção, o desempenho superior das procedências da Índia úmida, encontrado na avaliação aos nove anos, foi mantido e aumentou aos 17 anos. O desempenho em produção das procedências da Indonésia foi acima da média, mas apresentou decréscimo da produção em relação àquelas da Índia úmida.

A empresa Cáceres Florestal S.A. recebeu, em 1979, sementes da Danida de cinco procedências, sendo quatro da Índia: Kolikeri, Masale Valley, Mount Stuart 2 e Sungam, além de uma da Nigéria, Olomu-Ilorin. Os materiais genéticos foram testados e nenhum deles sobressaiu à procedência Tenasserim de Mianmar, que havia sido importada de Trinidade e Tobago (informação pessoal, Luis Flávio Veit da Cáceres Florestal). Essas procedências testadas pela Cáceres Florestal eram distintas daquelas utilizadas no teste de procedências conduzido na Aracruz.

Na Amazônia, o crescimento da teca plantada na Estação Experimental de Curuá-Una foi avaliado novamente aos 13 anos de idade, sendo que os resultados obtidos foram 9,7 m para altura, 10 cm para DAP e 2,11 m para diâmetro de copa (Brasil, 1979). Neste ano, foi realizado o primeiro inventário florestal e de análise de tronco nos povoamentos de teca implantados no período de 1971-1973 pela Cáceres Florestal (Higuchi, 1979). O autor estabeleceu as primeiras equações de volume, relação hipsométrica e curvas de índice de sítio (Figura 2A) para a espécie no Brasil. As curvas são semelhantes àquelas obtidas por Keogh (1979), que utilizou dados de 144 observações sobre a teca em 11 países do Caribe e da América Central, além da Colômbia e da Venezuela (Figura 2B).

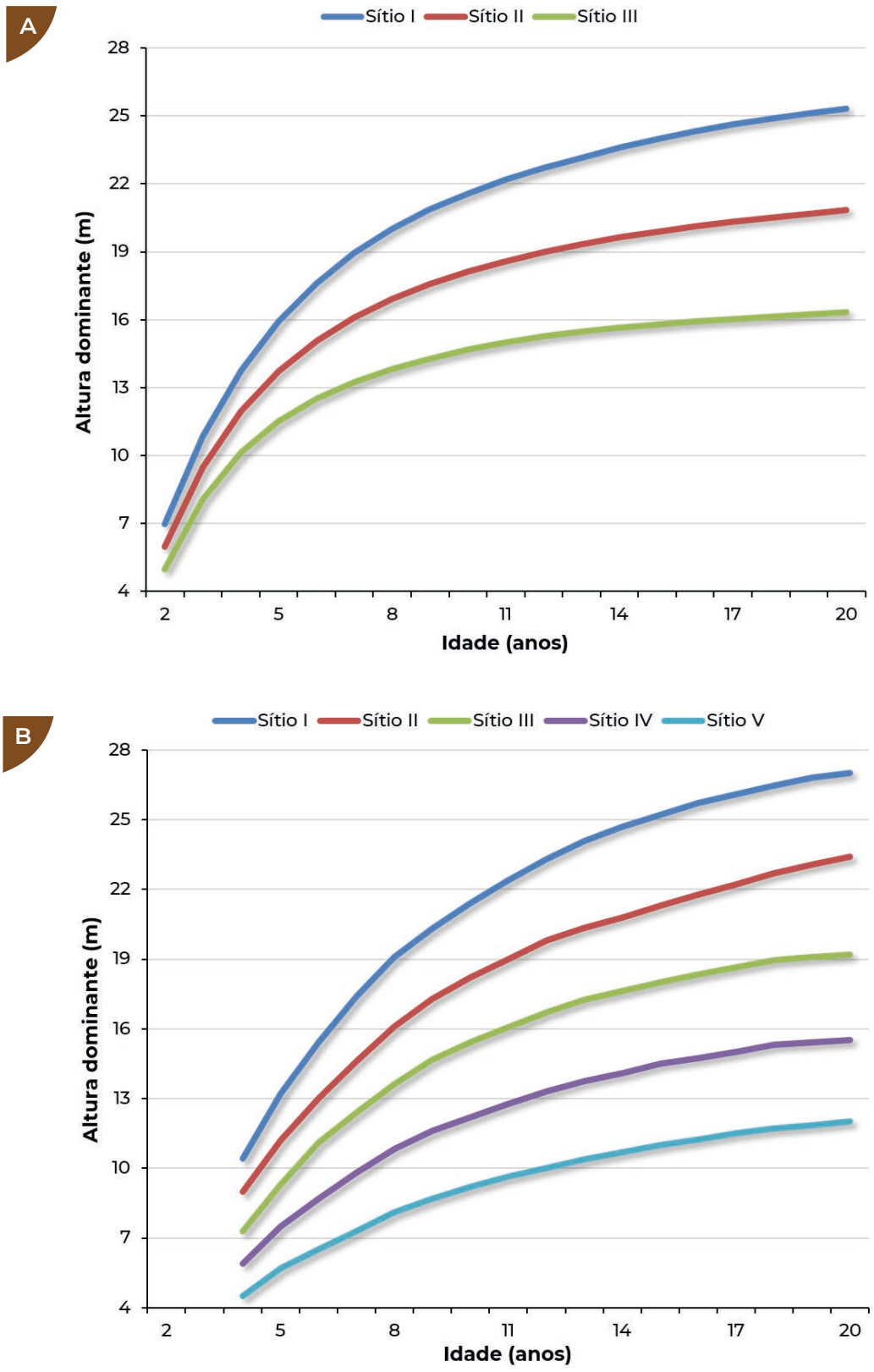


Figura 2. Curvas de índice de sítio estabelecidas para os primeiros plantios de teca efetuados no Brasil pela Empresa Cáceres Florestal S.A., em Indiavaí, MT (A) e as estabelecidas para os plantios em 11 países do Caribe e da América Central, além da Colômbia e Venezuela (B).

Fontes: Higuchi (1979) e Keogh (1979).

Com esses resultados positivos, em 1981, a Cáceres Florestal iniciou a divulgação de textos orientativos, na forma de folder, sobre a espécie: “Teca - sua melhor opção para o reflorestamento”, “O reflorestamento da teca” e “Instruções básicas para a formação de mudas de teca, seu plantio e a condução do florestamento”.

Em 1980, foi realizado no Brasil, o Simpósio da International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) sobre Melhoramento genético e produtividade de espécies florestais de rápido crescimento (Fast Growing Trees). Neste evento, foi apresentado o resultado do teste com sete procedências de teca, de Burma, Índia, Laos e Tailândia, implantadas em janeiro de 1975 na Jari Florestal, e os autores concluíram que, aos cinco anos de idade, nos solos argilosos da região, nenhuma delas se sobressaiu em relação à gmelina (Woessner; Tibúrcio, 1983).

No início da década de 1980, o IBDF realizou o inventário das florestas autóctones e plantadas no Brasil e um dos trabalhos foi o diagnóstico do setor florestal do estado de Mato Grosso. Foi relatado que a área plantada com teca totalizava 379 ha, equivalente a 2,9% da área reflorestada no Estado (Brasil, 1984). O autor ainda apresentou de forma condensada os aspectos silviculturais da espécie e os resultados obtidos por Higuchi (1979).

O final da década de 1980 e o início da década de 1990 foram marcados por algumas publicações importantes sobre a teca. A Esalq foi a instituição que publicou a primeira dissertação de mestrado sobre teca, em 1989, que tratava dos efeitos do solo sobre o desenvolvimento da espécie, com dados coletados nos plantios da Cáceres Florestal, à época denominada Serraria Cáceres (Matricardi, 1989). Dois anos após, na Esalq, foi apresentada outra dissertação sobre a teca, que caracterizou a estrutura anatômica de sua madeira e a fenologia da espécie. Este trabalho foi desenvolvido com as árvores do experimento plantado pelo professor Helladio do Amaral Mello, em Piracicaba, SP (Cardoso, 1991).

Na Tabela 1 é apresentada a linha do tempo dos principais acontecimentos históricos da cultura da teca no território brasileiro até 1989.

Tabela 1. Linha do tempo com os principais acontecimentos históricos na cultura da teca no Brasil até 1989.

ANO	ACONTECIMENTO	
1925	Plantio das primeiras árvores de teca no Jardim Botânico do Rio de Janeiro.	PIONEIRISMO E ABNEGAÇÃO
1930	Primeira citação técnica sobre cultivos de teca por Alberto José de Sampaio.	
1939	Caracterização da madeira de teca por José Aranha e Frederico Abranches Brotero.	

Continua . . .

Tabela 1. Continuação.

ANO	ACONTECIMENTO	
1959	Plantio de ensaio silvicultural na Esalq pelo professor Helladio do Amaral Mello.	PIONEIRISMO E ABNEGAÇÃO
1966	Ensaios de teca no Pará, em Curuá-Una por John Pitt e, em Monte Dourado, pela Jari Florestal.	
1968	Estabelecimento de ensaios de competição entre espécies florestais autóctones e alóctones, com destaque para a teca, pela Empresa Cáceres Florestal S.A.	
1971	Estabelecimento do primeiro povoamento comercial de teca pela Empresa Cáceres Florestal S.A.	
1973	Implantação de teste com sete procedências de teca no Espírito Santo pela antiga Empresa Aracruz.	
1975	Implantação de teste com sete procedências de teca no Pará pela Empresa Jari Florestal.	
1978	Relato de 267 ha de teca plantados em Mato Grosso por Lamberto Golfari, Roberto Luiz Caser e Vicente Pongitory Gifoni de Moura.	
1979	Primeiras equações de volume, relação hipsométrica e curvas de índice de sítio para a teca no Brasil elaboradas por Niro Higuchi. Doação pela Danida de sementes de teca de cinco procedências para a Empresa Cáceres Florestal S.A.	
1980	Relato de 379 ha de teca plantado em Mato Grosso, pelo IBDF.	
1989	Primeira dissertação de mestrado sobre teca no Brasil, com dados das plantações da Empresa Cáceres Florestal, sobre efeitos do solo no desenvolvimento da espécie, por Wagner Antônio Trondoli Matricardi.	

Difusão e ampliação

Em 1990, foi traduzido e publicado o livro “Silvicultura nos trópicos” de Hans Lamprecht. Esse livro apresenta informações sobre sistemas silviculturais para manejo sustentável da teca nas florestas naturais e procedimentos silviculturais para estabelecimento e condução das plantações com a espécie (Lamprecht, 1990).

Nas Regras de Análises de Sementes, estão discriminadas as características para o lote e as instruções para realização dos testes de germinação de diversas espécies (Brasil, 1992). Para a teca, o tratamento especial indicado para superar dormência era macerar as sementes em água, deixar secar por três dias e repetir este procedimento por seis vezes. Este tratamento não era adequado para as sementes de teca produzidas no Brasil, que não apresentavam a dormência verificada nas sementes colhidas na Índia e no Sudeste Asiático.

Ainda assim, esta era a técnica adotada pela Associação Internacional de Ensaios de Sementes (International Seed Testing Association - ISTA). Desde a década de 1980, dentre as atividades em tecnologia de sementes, o Instituto Florestal de São Paulo (IFSP) já havia incluído a teca entre as espécies prioritárias de colheita (São Paulo, 1991).

Durante a década de 1990, o destaque foi a difusão, pelo engenheiro agrônomo Luis Flávio Veit, dos resultados silviculturais positivos obtidos nos plantios comerciais de teca pela "Serraria Cáceres" que, em 1991, constituiu a Empresa Cáceres Florestal S.A., para receber o aporte de recursos de investidores internacionais. Assim, foram efetuadas divulgações no exterior (Beyse, 1991; Sejr, 1991; Neukirchner, 1992; Bruce, 1993b; Veit, 1998b), com destaque para a primeira exportação de toras de teca, provenientes de desbaste, efetuada pela Cáceres Florestal (Bruce, 1993a).

Outras publicações foram feitas no Brasil (Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1992; Veit, 1992, 1993, 1996a, 1996b, 1996c, 2000; Contato Hoje, 1993; Teca..., 1993) (Figura 3), além do "Manual do Reflorestamento da teca" (Cáceres Florestal, 1997), este reeditado com o nome de "Manual do cultivo da teca" em 2000 e 2002 e, a partir de 2006, revisado e em versão digital (Cáceres Florestal, 2006).

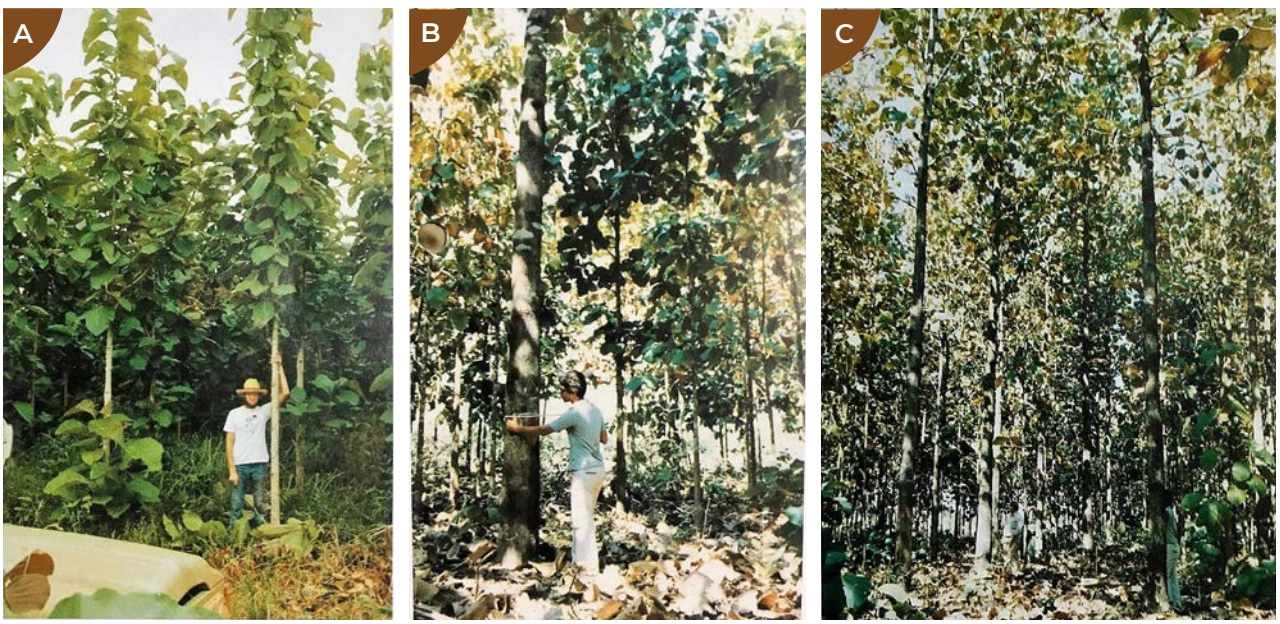


Figura 3. Fotos do primeiro material de divulgação técnica dos plantios de teca da Empresa Cáceres Florestal, aos 27 meses de idade, após a primeira desrama (A), de um exemplar excepcional, aos oito anos de idade (B) e de povoamento, aos dez anos de idade (C).
Fonte: Veit (1993).

Algumas empresas optaram por testar a teca e, na década de 1990, foram estabelecidas plantações em Brasnorte, MT e, de 1992-1994, cerca de 160 ha em Pimenta Bueno, RO e, de forma intercalada em cafezais decadentes, estabelecidos anteriormente por pequenos

produtores rurais, em Espigão do Oeste, RO. Complementarmente às publicações, ocorreram as atividades de extensão, na forma de cursos e de palestras em eventos, realizados pelo engenheiro agrônomo Luis Flávio Veit, representando a Cáceres Florestal, que gentilmente cedeu os dados para a apresentação neste trabalho. No período de 1993-2001 foram realizados diversos dias de campo sobre o cultivo da teca, para pequenos agricultores. Estas atividades envolveram caravanas do interior de Mato Grosso, Rondônia e Pará e, estes últimos, passaram a plantar teca para sombreamento de pimenta-do-reino. Foram mais de 30 palestras no período de 1993-2000 (Figura 4A) em 12 estados do Brasil (Figura 4B).

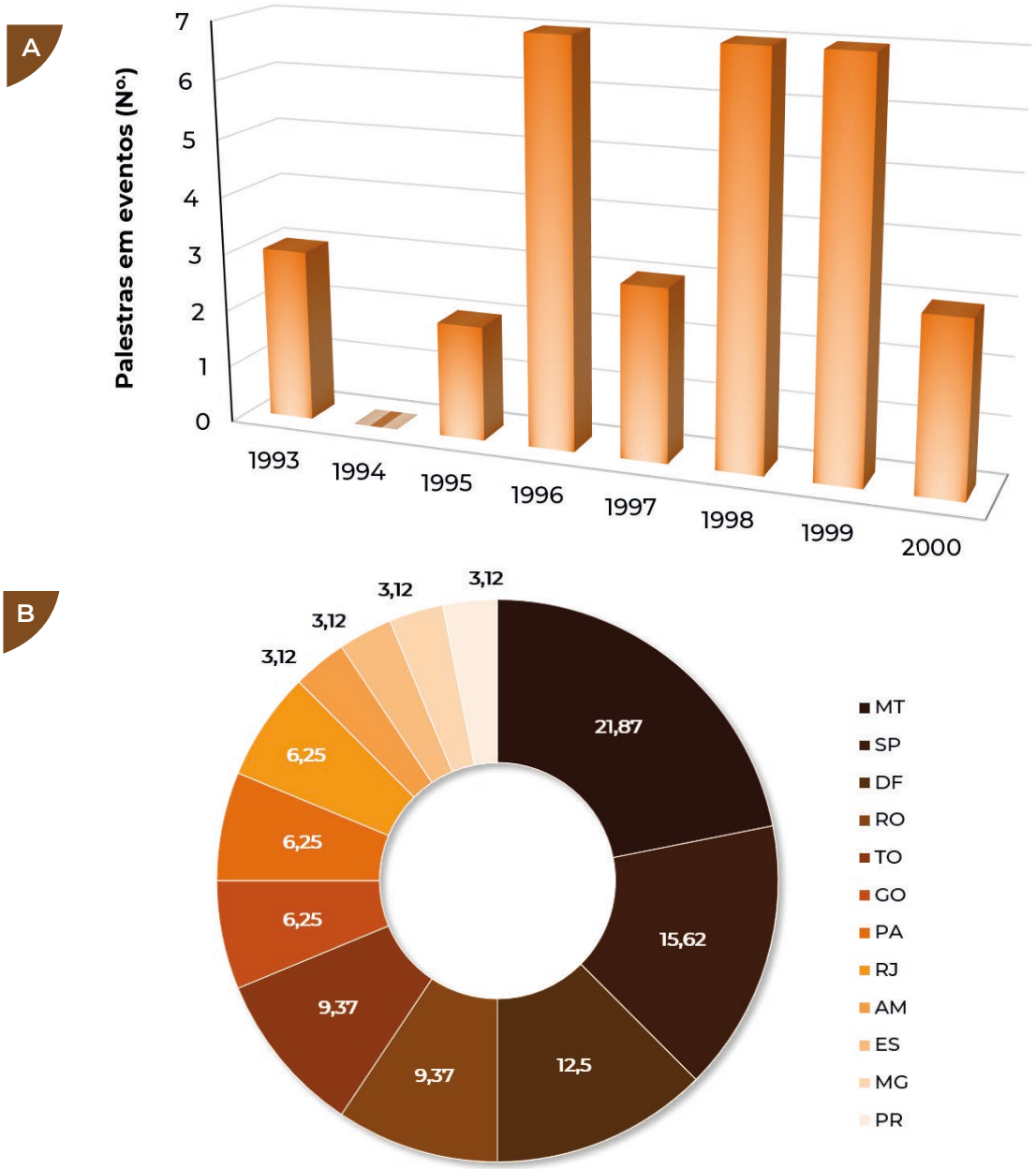


Figura 4. Número de palestras em eventos, realizadas pela Empresa Cáceres Florestal S.A., no período de 1993-2000 (A) e percentagem de palestras realizadas por estados do Brasil (B).

Em 1994, a Empresa Floresteca S.A., cujos ativos são gerenciados atualmente pela Teak Resources Company – TRC Agroflorestal Ltda, iniciou suas atividades em Jangada, MT, despertando o interesse de investimentos estrangeiros à produção da teca no Brasil, recebendo investimentos da Amazon Teak Foundation em suas plantações, com a divulgação dos primeiros resultados de seus plantios, principalmente da Holanda (Amazon Teak Foundation, 1995) e, após quatro anos do seu início, suas plantações receberam o Certificado de Gestão Florestal do Forest Stewardship Council® (FSC®), sendo o primeiro empreendimento de teca no Brasil a obter esta certificação. Ainda que esta área fosse pequena, alguns talhões eram localizados às margens da rodovia BR-163, principal acesso à Rondônia e outros estados da região Norte. Assim, chamavam a atenção dos que ali circulavam, pelo crescimento rápido, porte, tamanho das folhas e, durante o período de seca anual, pela senescência foliar, característica ecológica da espécie. Durante a década de 1990, inúmeras outras pequenas áreas foram plantadas com teca nos municípios de Cotriguaçu, MT, Juruena, MT, dentre outros. Posteriormente, modelos semelhantes de investimentos estrangeiros, para a produção da teca no Brasil, foram adotados pelas empresas: Tectona Agroflorestal Ltda, Soroteca Agro-Florestal Ltda, R.A Nederlof & Cia, Ecoflorestal Ltda e Proteca.

As primeiras citações em revistas internacionais sobre o cultivo da teca no Brasil foram feitas em 1997 na revista Actualidad Forestal Tropical do ITTO, com dois artigos sobre reflorestamento. Um tratava do manejo silvicultural das plantações de teca, com informações sobre o Brasil e a menção aos mais de um mil ha plantados pela Cáceres Florestal, iniciados em 1971 (Centeno, 1997). O autor destacou que os resultados excelentes e a redução da rotação para 25 anos estavam associados ao clima da região, à seleção de fonte de sementes, à escolha de solos adequados e ao manejo silvicultural intensivo. No outro artigo, Reis (1997) abordou as plantações florestais com fins industriais na América Latina e o destaque sobre a teca foi a menção da existência de cerca de 10 mil ha plantados no Brasil.

Um protótipo de maquinário foi desenvolvido por Ferraz et al. (1998), para escarificar frutos de teca, com a remoção do mesocarpo e do endocarpo, contudo, o rendimento operacional era baixo e inviabilizou o seu uso. Além disso, em um dos testes deste protótipo no Mato Grosso, foi observado intenso ataque de formigas predando as sementes. A germinação dos diásporos de teca não é lenta e irregular no Brasil, como ocorre na região de origem e a sua viabilidade entre 50% e 70% está associada à ausência de qualquer semente nos diásporos. Foram também desenvolvidos "alicates" em outros países e no Brasil para a remoção das sementes dos frutos, contudo, a operação é lenta e as sementes são atacadas pelo fungo *Fusarium* sp., além do fato que a plântula de teca pode ser transplantada e, assim, aproveitadas as plântulas procedentes de sementes de um mesmo fruto, após a germinação.

Carvalho (1998) discriminou espécies florestais que foram introduzidas no Brasil, como alternativas às espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, com uso de critério da ocorrência ou não de geada, para agrupar as espécies. Assim, o autor listou 12 espécies para cada grupo e, entre aquelas sensíveis à geada, incluiu a teca. Neste mesmo ano, foi realizado o "I Seminário do Setor Madeireiro do estado de Mato Grosso" e a teca foi tratada em duas palestras. Garcia (1998) destacou a distribuição da área plantada com teca em Mato Grosso, totalizando cerca de 7.500 ha (Tabela 2), enquanto Veit (1998a) abordou as alternativas de manejo e de reflorestamento com a espécie.

Neste ano, a Comissão Estadual de Sementes e Mudas do estado de Mato Grosso estabeleceu as normas técnicas para a produção de mudas fiscalizadas (1998a) e de sementes fiscalizadas de espécies florestais (1998b). A teca foi contemplada e, acerca do processo de produção de mudas, foi mencionada a produção de muda "toco" e de muda embalada e, para sementes, abordou tanto as áreas de produção como os pomares. Dentro deste contexto, a Cáceres Florestal foi a primeira empresa a cadastrar parte de suas plantações como áreas de produção de sementes (APS) e, durante muitos anos, foi a única produtora de sementes, pois suas plantações tinham mais de 15 anos de idade e as árvores dos povoamentos eram selecionadas com a aplicação de, no mínimo, três desbastes seletivos.

Tabela 2. Área plantada com teca, por município, no estado de Mato Grosso, em 1998.

Município	**Área** (ha)	**Município**	**Área** (ha)
Alta Floresta	500	Juruena	500
Brasnorte	1.300	Rosário Oeste	1.500
Cáceres	1.600	Santo Antônio do Leverger	90
Chapada dos Guimarães	70	São Vicente	150
Jangada	750	Sinop	400
Juína	300	Outros municípios	400
TOTAL			**7.500**

Fonte: Garcia (1998).

Os reflexos da divulgação do desempenho das plantações de teca na Cáceres Florestal, os cursos de extensão sobre seu cultivo e o credenciamento das APS's foram fatores que estimularam o plantio da teca em Mato Grosso e em outros estados. Assim, o primeiro lote foi fornecido em 1991, em Mato Grosso, com 10 kg de sementes. No ano seguinte, para outros 4 Estados; em 1993, para outros 10 Estados; em 1994, mais 4 Estados; de 1995 a 1997, 1 Estado a cada ano; em 1998, outros 3 Estados; em 2010 para Sergipe e apenas o estado do Rio Grande do Norte não adquiriu sementes até 2012. Do total de sementes fornecidas neste período, apenas 0,31% foram fornecidos para o exterior e, em ordem decrescente de quantidade, os países adquirentes foram: Moçambique, Bolívia, Austrália e Uruguai (Figuras 5 e 6, elaboradas com dados fornecidos pela Cáceres Florestal).

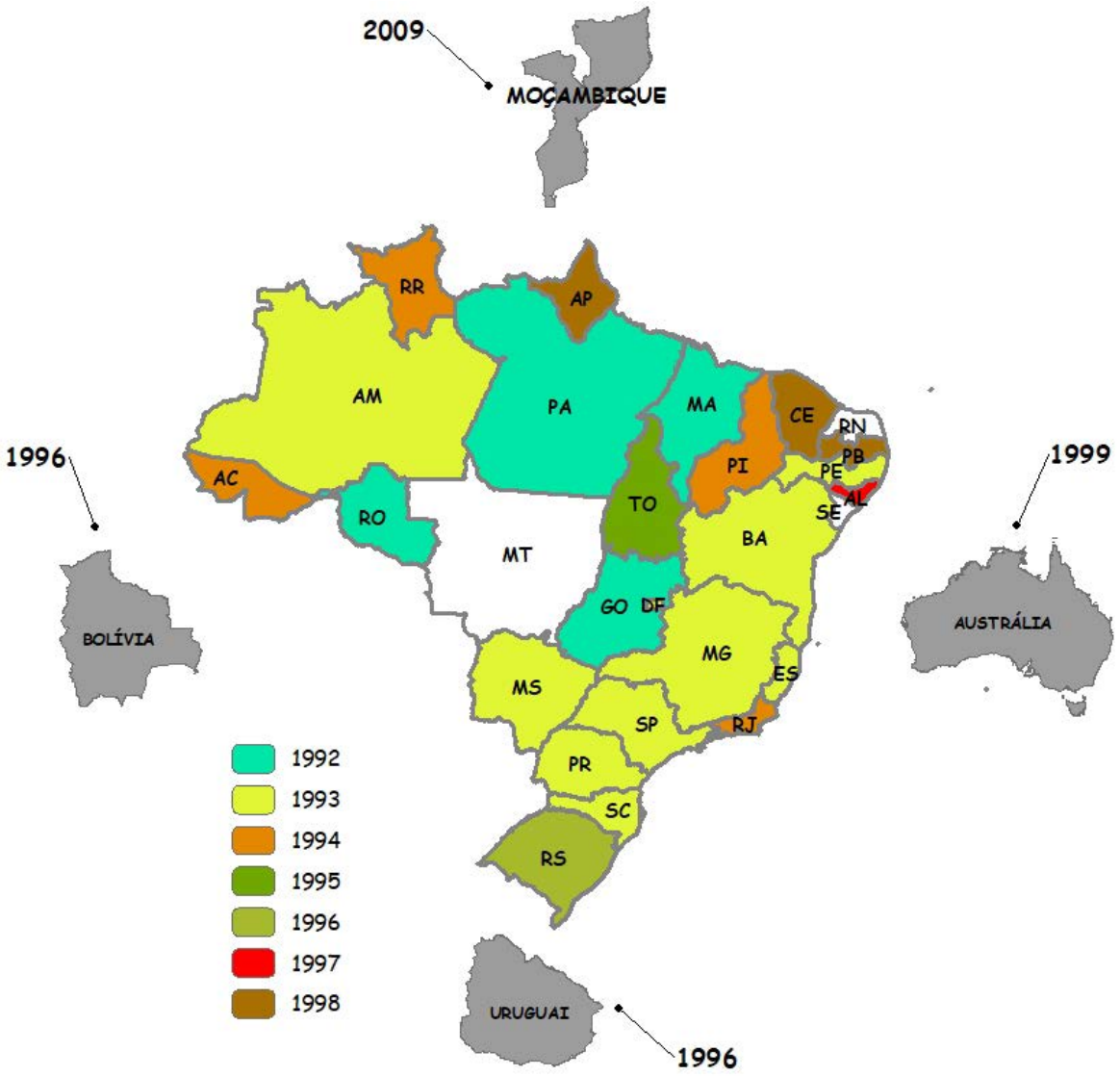


Figura 5. Espacialização temporal da distribuição de sementes de teca, procedentes das áreas de produção de sementes (APS), da Empresa Cáceres Florestal S.A. para estados do Brasil e para outros países.

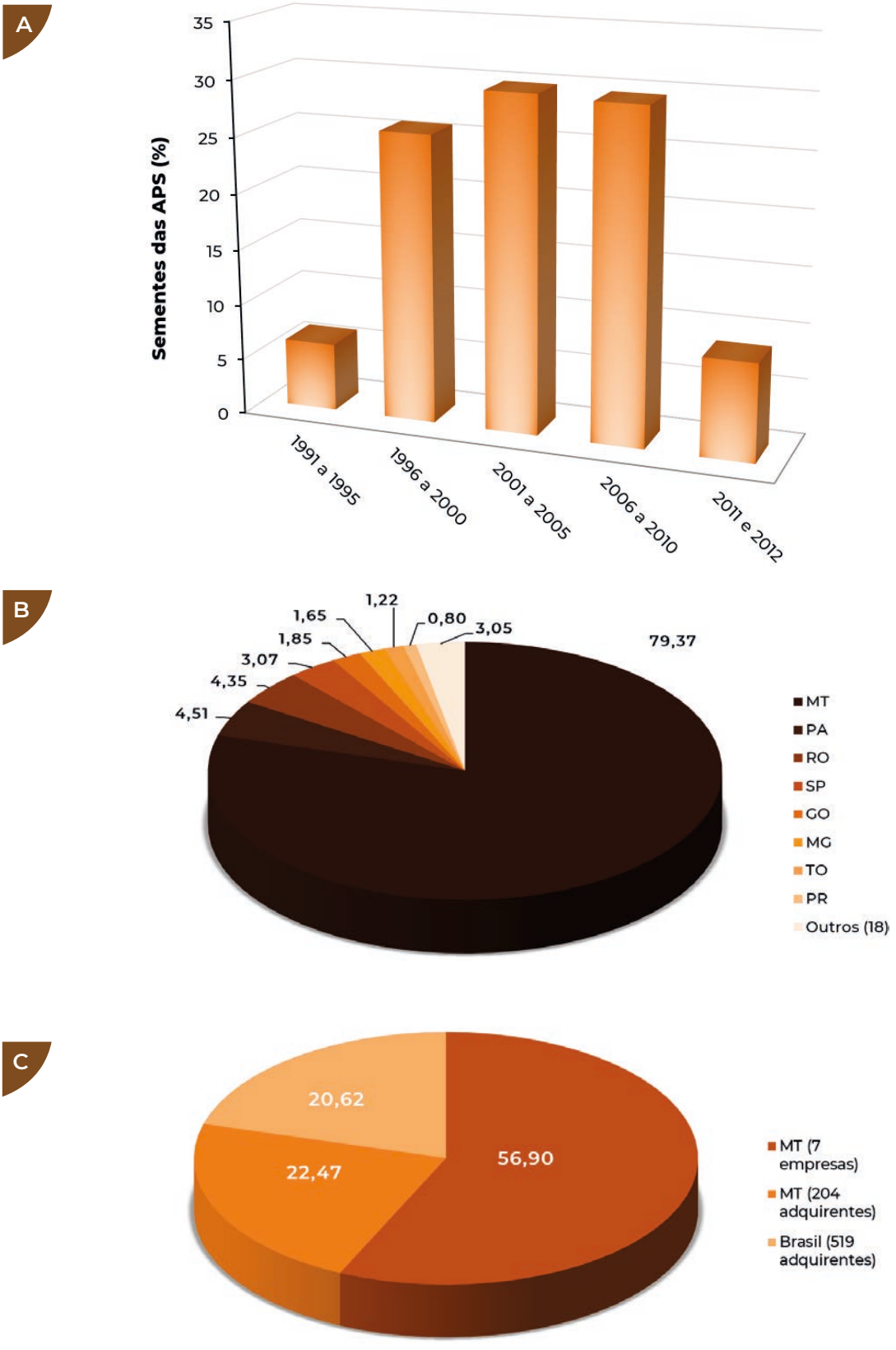


Figura 6. Distribuição de sementes, em porcentagem (%), produzidas nas áreas de produção de sementes (APS) de teca da Empresa Cáceres Florestal: por quinquênios (A), por estados do Brasil (B) e por adquirentes no estado de Mato Grosso e no Brasil (C).

No último ano do século XX, a Empresa Teca do Brasil Florestal iniciou suas plantações no município de Nossa Senhora do Livramento, MT, totalizando cerca de 1.700 ha em cinco anos. Neste ano, ainda foram publicadas considerações silvi-ecológicas de teca e o respectivo zoneamento geográfico (Imaña-Encinas, 1999). Neste mesmo ano, Macedo (1999) apresentou uma análise do potencial para o estabelecimento da teca na região noroeste do estado de Minas Gerais.

Na Tabela 3 é apresentada a linha do tempo dos principais acontecimentos históricos da cultura da teca no território brasileiro entre 1990 e 1998.

Tabela 3. Linha do tempo com os principais acontecimentos históricos na cultura da teca entre 1990-1998, no Brasil.

ANO	ACONTECIMENTO	
1990	Registro de plantio de teca consorciada com pimenta-do-reino, no município de Tomé-Açu, PA.	DIFUSÃO E AMPLIAÇÃO
1991	Plantio de teca pela Empresa Berneck, no município de Brasnorte, MT. Aporte de investimentos internacionais no empreendimento da Empresa Cáceres Florestal S.A.	
1992	Publicação de protocolos para testes de germinação com diásporos de teca. Plantio de teca pela Empresa Sul Amazônia Madeiras e Agropecuária Ltda (Sulmap), no município de Pimenta Bueno, RO.	
1993	Primeira exportação de toras de teca provenientes de desbastes da Empresa Cáceres Florestal S.A.	
1994	Primeiro plantio de teca pela Empresa Floresteca S.A., cujos ativos são gerenciados atualmente pela Teak Resources Company – TRC Agroflorestal Ltda, no município de Jangada, MT e a atração de investimentos estrangeiros.	
1997	Primeira citação internacional das plantações de teca no Brasil, por Julio César Centeno. Registro de 10 mil ha de teca plantados no Brasil, por Mauro Silva Reis.	
1998	Empresa Floresteca S.A. é o primeiro empreendimento com teca, certificado pelo FSC®, no Brasil. Registro da distribuição de 7.500 ha de teca plantados em Mato Grosso, feito por Carlos Antônio de Borges Garcia. Estabelecimento das normas técnicas para produção de sementes e de mudas de teca fiscalizadas pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas do estado de Mato Grosso. Plantio de teca pela Empresa Tectona Agroflorestal Ltda, com a atração de capital estrangeiro.	

O século XXI

E chegou o século XXI. As atividades com a teca na década anterior aumentaram o ritmo e o interesse dos pesquisadores e da academia. A primeira publicação científica brasileira sobre a teca foi apresentada por Caldeira et al. (2000), que caracterizaram os diásporos de 13 lotes de teca, oriundos de três APS's da Cáceres Florestal. No “Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal”, Silva et al. (2000) apresentaram a avaliação do estado nutricional, o crescimento de teca e suas relações com os fatores do sítio na região sudoeste de Mato Grosso. Neste período, a transição das publicações impressas para as digitais se consolidou em todas as áreas da ciência, na área florestal e, consequentemente, sobre a teca, além da digitalização de alguns trabalhos mais antigos por editoras, bibliotecas, instituições de ensino e pesquisa ou iniciativas isoladas.

Na primeira década de 2000, a Cáceres Florestal iniciou a colheita final dos primeiros povoamentos implantados no final da década de 1970, com o uso de corte raso. A novidade foi a opção pela regeneração natural por alto fuste, com a utilização do banco de sementes de teca existente na serapilheira. A técnica era conhecida, mas pouco utilizada, em razão das dificuldades relacionadas às atividades manuais no fracionamento da serapilheira, no alinhamento, no raleamento da germinação e no controle de mato-competição. Com o uso da mecanização, ajustes do calendário e do número de operações, a técnica foi viabilizada (Siqueira, 2017; Corrêa, 2019) e, atualmente, é utilizada também pela Empresa KLM Reflorestadora Ltda no município de Santo Antônio do Leverger, MT. Ainda na área comercial, as empresas R. A. Nederlof & Cia e a Soroteca Agro-Florestal Ltda iniciaram suas plantações em Mato Grosso, nos municípios de São José dos Quatro Marcos, Curvelândia e Cáceres e, em 2010, a área plantada por ambas as empresas totalizava aproximadamente 5 mil ha.

No setor público, a Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários do estado de Mato Grosso (SAAF) e a Associação Mato-Grossense de Engenheiros Florestais (AMEF) elaboram o Programa de Desenvolvimento Florestal (Prodeflora) (Mato Grosso, 2000), e que foi instituído pela Lei Ordinária 7.709 em 2002, além de criar o Fundo de Apoio à Produção Florestal (Mato Grosso, 2002). Em 2001, para facilitar o acesso às informações técnicas, com apoio da SAAF, foram elaboradas as diretrizes técnicas para reflorestamento com a teca em Mato Grosso (Mato Grosso, 2001). Neste mesmo ano, a Empresa Teca do Brasil aprovou o primeiro projeto de teca junto ao Fundo Constitucional do Centro-Oeste (FCO).

No âmbito federal, em 2002, foi divulgado o Programa Nacional de Florestas (PNF), para estimular as plantações florestais e atender à demanda estimada em 600 mil ha anuais, face a um plantio anual em torno de 200 mil ha. Esse tema sobre o déficit na oferta de madeira

de plantações florestais para as indústrias de base florestal ficou conhecido como “apagão florestal” e as primeiras citações ocorreram na década de 1980, que aumentaram na década seguinte. A reação do setor florestal foi registrada por Schuchovski (2003) e Tomaselli e Siqueira (2004), ao divulgarem que os riscos do apagão florestal haviam sido atenuados. Contudo, Assis (2014) destacou que o aumento da demanda de madeira ocorrida em 2003, associado à crise internacional de 2008, foram os fatores determinantes para a percepção de um novo risco de apagão florestal. Como consequência, houve valorização dos ativos florestais e a reação por parte dos produtores rurais foi aumentar as áreas de plantios florestais e a do setor público foi fomentar a atividade.

Não é possível associar diretamente o tema “apagão florestal” ao aumento da área plantada com teca, em Mato Grosso. Contudo, nesta década, algumas empresas de base florestal, com florestas de pinus no Sul do País, como a Berneck e a Sulmap, foram motivadas a plantar a teca em Mato Grosso e Rondônia, como garantia de oferta de madeira, além de diversificar a produção com o plantio de espécie produtora de madeira de qualidade superior.

Os pesquisadores também apresentaram vários trabalhos sobre teca. Foram publicados artigos sobre melhoramento genético para a região Centro-Oeste (Costa; Resende, 2001), tratamento de sementes (Caldeira; Caldeira, 2001), emergência de plântulas associadas a pré-tratamentos e substratos (Caldeira; Vieira, 2001), crescimento pela análise de tronco (Figueiredo, 2001a), a situação do reflorestamento com a espécie no estado do Acre (Figueiredo, 2001b) e o desenvolvimento de teca consorciada com mogno em Carlópolis, PR (Pinto; Rodigheri, 2001).

No ano seguinte, foi apresentada a primeira tese de doutorado sobre a propagação vegetativa por miniestaquia de três espécies florestais, sendo uma delas a teca (Gatti, 2002). Acerca do desenvolvimento da espécie no Cerrado, em diferentes espaçamentos (Gomes, 2002) e sobre a sua introdução em consórcio com cafezais na região de Lavras, MG (Macedo et al., 2002). Foi também efetuado o primeiro registro da ocorrência da lagarta *Hyblaea puera* em povoamento de teca no Brasil (Peres-Filho et al., 2002).

A partir daí, a teca passou a ser mais pesquisada. Desde a primeira publicação sobre a teca no Brasil em 1930 até o último ano do século XX, foram produzidos mais de 40 trabalhos entre artigos científicos, dissertações, notas técnicas e outras publicações isoladas, além de artigos de opinião e de divulgação da espécie. Somente no primeiro quinquênio do século XXI foram produzidos quase a mesma quantidade de trabalhos e essa produção mais que dobrou nos cinco anos seguintes e, depois, houve ligeira elevação até 2014. A partir daí até 2019, foram publicados mais de uma centena de trabalhos sobre a teca (Figura 7).

Na primeira década deste século, os destaques de publicações técnico-científicas produzidas sobre teca foram para: Evandro Orfanó Figueiredo, da Embrapa Acre, onze publicações; Renato Luiz Grisi Macedo, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sete publicações e Sidney Fernando Caldeira da UFMT, nove publicações, além de outros trabalhos, nos quais colaboraram como coautores.

Em 2003, foram iniciados os plantios clonais de teca no Brasil, nas áreas da Empresa Floresteca S.A., município de Cáceres, MT, a partir da introdução de materiais genéticos superiores, iniciativa da Empresa Bioteca, representados por meio da parceria entre Sylvio de Andrade Coutinho Neto e Fernando Scognamiglio Torres. Esta iniciativa resultou na introdução de 22 clones, originados das Ilhas Salomão e da Malásia peninsular (Mata Ayer, Perlis e Kota Marudu), produzidos pela Empresa YSG Biotech. Entre 1994-2004, a YSG Biotech produziu 2 milhões de plântulas micropropagadas, principalmente de clones denominados TG1 a TG8 e clone 9 (MBO); com a primeira remessa comercial em 2001, para a Austrália (Goh; Monteuuis, 2009).

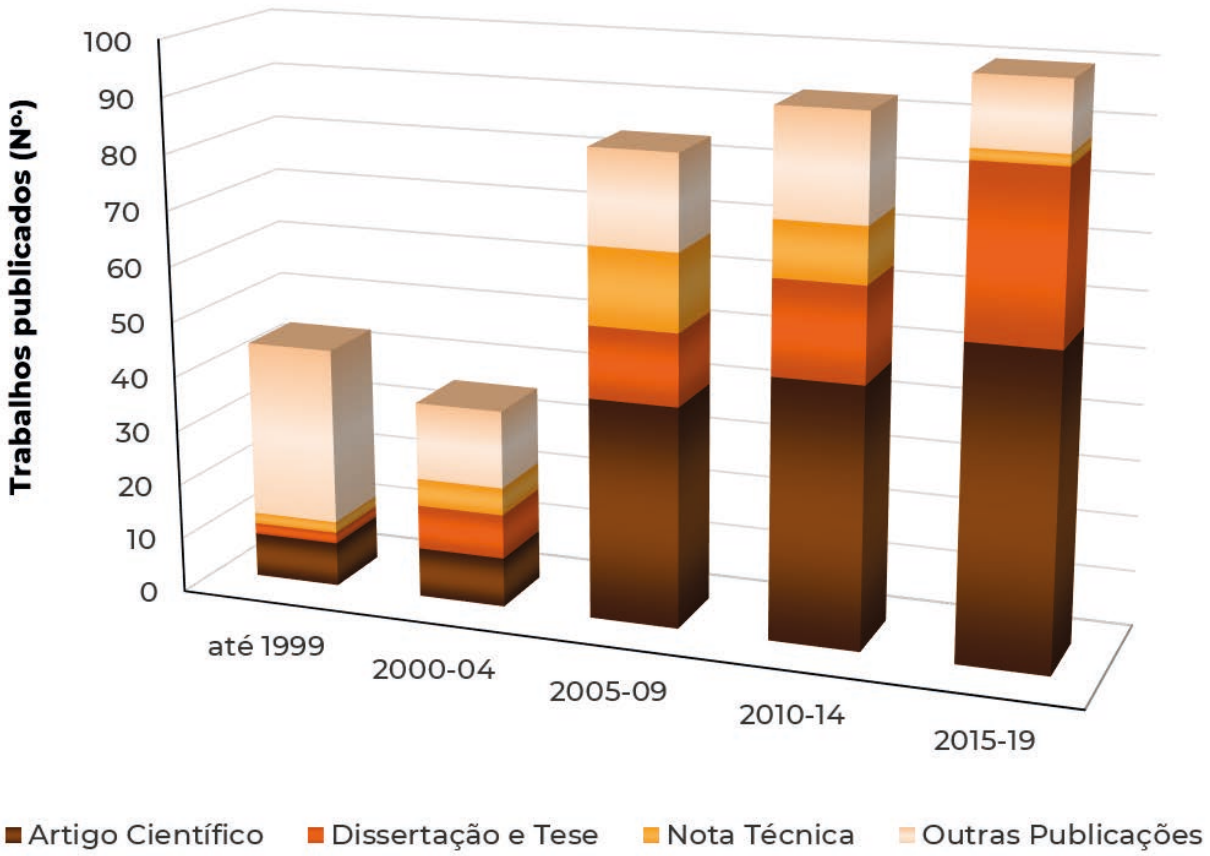


Figura 7. Evolução da quantidade quinquenal de trabalhos de pesquisa e de divulgação da teca no Brasil, no período de 1930-2019, por tipo de publicação.

Estes mesmos clones da Malásia foram introduzidos na Austrália, no Brasil, na Indonésia, na Tanzânia, no México e no Equador. Os registros e as avaliações nestes países evidenciaram suas superioridades quando comparados com os genótipos locais. Superioridade quantitativa, com maior incremento em DAP, altura e volume de madeira, bem como superioridade qualitativa em uniformidade, forma e retidão do fuste (Goh; Monteuuis, 2012). Os primeiros clones plantados no País têm resultados com superioridade de 13,5% para o crescimento em DAP e 31,9% para volume individual (Figura 8, elaborada com dados fornecidos pela TRC Agroflorestal).

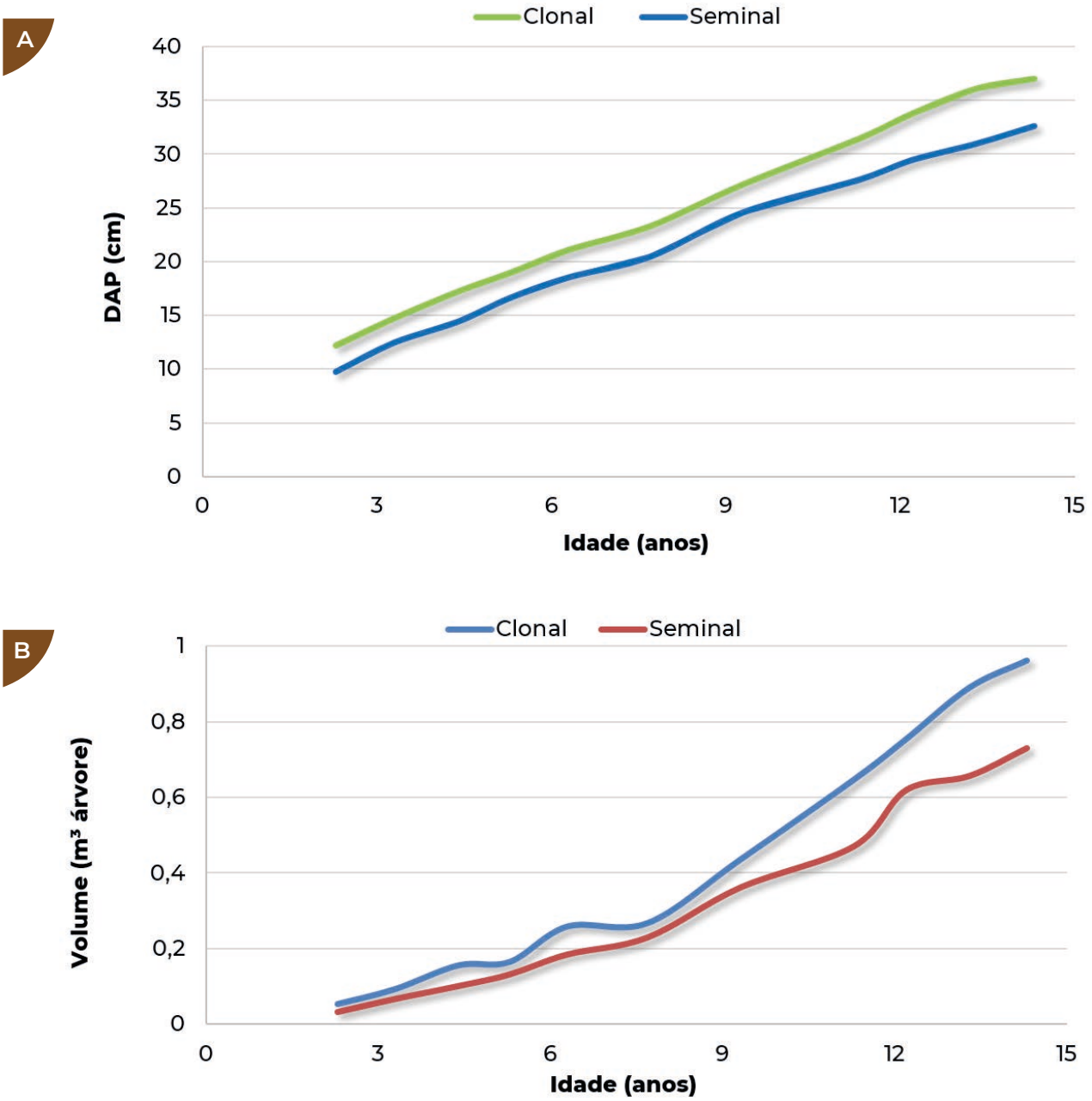


Figura 8. Curva de crescimento entre material clonal e seminal de teca, DAP em cm (A) e volume individual em m^3 $árvore^{-1}$ (B).

Oliveira (2003) publicou a dissertação de mestrado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com o título de "Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – Nutriteca", estudo base para o manejo nutricional da teca e que pode ser utilizado para a recomendação de fertilização mineral em plantios de teca.

Neste mesmo ano, foi também fundada a Associação de Reflorestadores de Mato Grosso (Arefloresta), com o objetivo de fortalecer o setor de florestas plantadas em Mato Grosso e a missão de elevar a sua competividade. A Arefloresta passou a realizar encontros técnicos para a difusão de conhecimento, publicações e é referência nacional de representatividade do setor mato-grossense de florestas plantadas, incluindo os produtores de teca. Vem atuando institucionalmente na melhoria do ambiente de negócios em florestas plantadas de Mato Grosso. Importante ação foi na desburocratização do processo de exportação de toras de teca, cujos procedimentos e exigências se assemelhavam aqueles de essências nativas, além da conquista de alternativas mais viáveis para tratamentos fitossanitários da madeira de teca, exigidos pelos países importadores.

Em 2004, o ITTO dedicou uma edição da revista Actualidad Forestal Tropical para tratar das perspectivas para a teca oriunda de plantações. Nesta edição, Bhat e Ma (2004) divulgaram que o Brasil detinha cerca de 45 mil ha plantados, equivalente a 25,8% das plantações da América Central e da América do Sul, juntamente com as médias das áreas plantadas por outros sete países. Desse total, segundo Coutinho (2004), cerca de 17 mil ha haviam sido plantados pela Floresteca (TRC), cujo ritmo de plantio era de cerca de 3 mil ha ano^{-1}, complementarmente, o autor ainda abordou os aspectos sociais resultantes na atividade.

Ainda em 2004, a Empresa Tectona Agroflorestal passou a ser a segunda produtora de teca no Brasil, cujas plantações receberam a certificação de manejo florestal do FSC®. No ano seguinte, a Cáceres Florestal foi a terceira empresa produtora de teca com esta certificação. Em 2012, a quarta produtora de teca certificada foi a Empresa Soroteca. Atualmente, no Brasil, somente dois empreendimentos mantém essa certificação para plantios: Cáceres Florestal e TRC Agroflorestal, a atual gestora das florestas da Floresteca.

A proposta do curso de mestrado acadêmico em Ciências Florestais e Ambientais do Programa de Pós-Graduação (PPG-CFA) da Faculdade de Engenharia Florestal (FENF) da UFMT foi criada em 2005 e o curso iniciou suas atividades em 2006. Anteriormente, as experiências com a pós-graduação foram em cursos de especialização latu sensu em Heveicultura, entre 1991-1994 e em Manejo de Florestas Tropicais Naturais, em 1993.

No início do PPG-CFA, os trabalhos se concentraram em temas relacionados às florestas autóctones, posteriormente o tema dominante passou a ser a área de silvicultura, 44,5%, tratando de plantações florestais, 37,2% (Figura 9A), e destas sobre a teca, 21,9% (Figura 9B), de um total de 137 dissertações publicadas no período de 2008-2019.

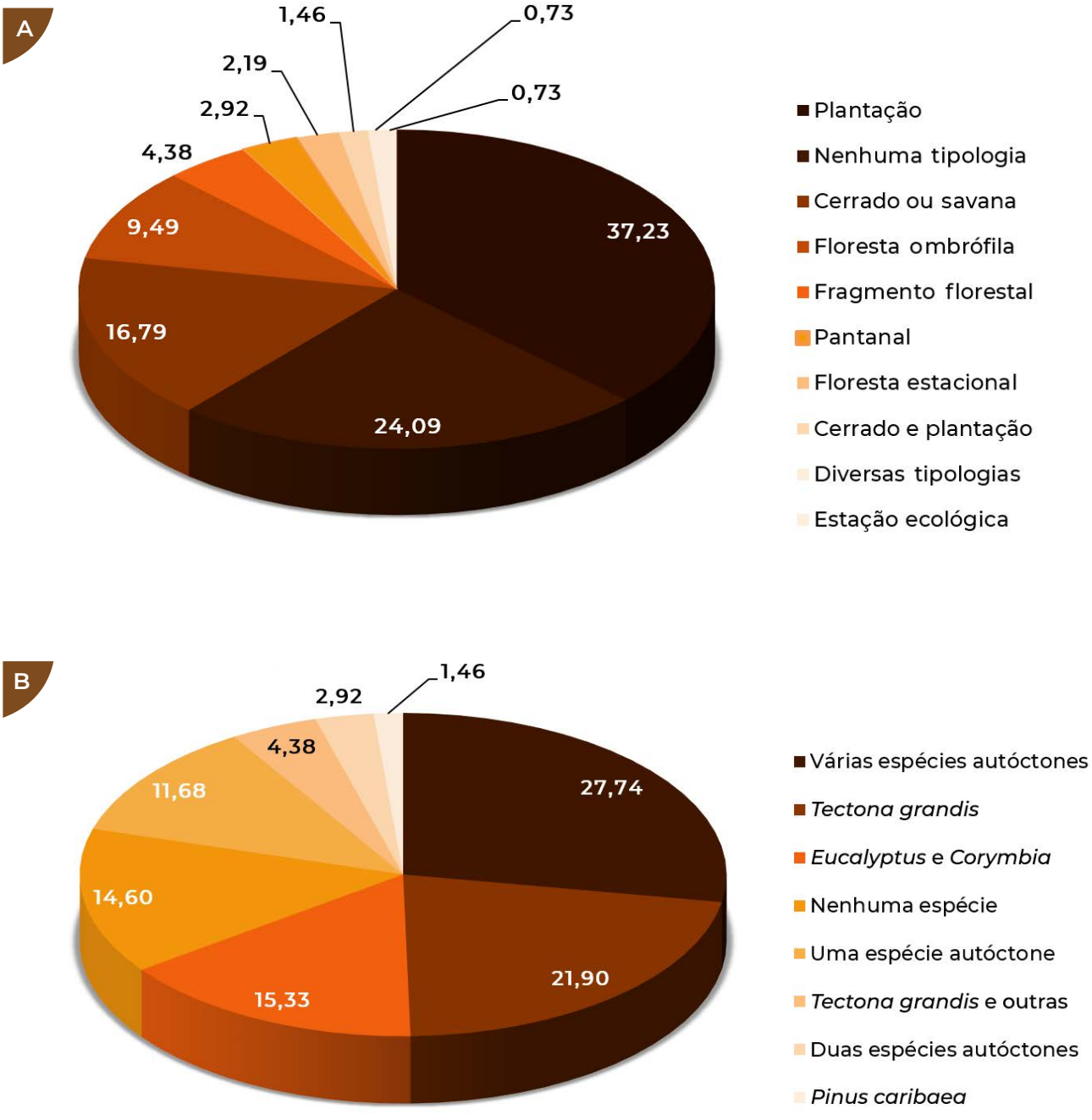


Figura 9. Distribuição das dissertações, em percentagem, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da UFMT, por tipologia ou plantação florestal (A) e por espécie estudada (B), no período de 2008-2019.

Em 2006, a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf), atual Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), lançou a primeira edição do seu anuário estatístico, com dados do setor florestal, ano base 2005. Neste anuário, além de informações sobre as plantações de eucalipto e pinus foram mencionadas as espécies: teca, acácia-negra, seringueira, paricá, araucária, populus e outras (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2006). Contudo, a Abraf esclareceu que os dados publicados eram exclusivos das empresas associadas à entidade, portanto, com alguma subestimação. Neste mesmo ano, foi publicado o livro "A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. (*Verbenaceae*) no estado de Mato Grosso" (Peres-Filho et al., 2006).

Em 2007, foi elaborado o "Diagnóstico das Plantações Florestais em Mato Grosso" que tratou das espécies plantadas no Estado. Para a teca, o trabalho apresentou as áreas plantadas e a variação de produtividade em função da altitude, do tipo de solo e da precipitação pluviométrica. A espécie respondia por 33% da área plantada no Estado, de um total em torno 145 mil ha (Shimizu et al., 2007). Em 2007, também o pesquisador da Embrapa Florestas, Edilson Batista de Oliveira, lançou o SisTeca®, software que simula o crescimento e a produção para o manejo de plantações de teca, sendo útil no seu planejamento e o manejo (Oliveira, 2007).

O registro da ferrugem da teca (*Olivea neotectonae*), ocorreu em 2009, a partir da coleta de folhas de teca provenientes dos municípios de Pontes e Lacerda, MT, Cáceres, MT, Imperatriz, MA, São Miguel do Tocantins, TO e Botucatu, SP (De Pieri et al., 2011). No mesmo ano, houve o registro da murcha-da-teca causada por *Ceratocystis fimbriata*, encontrado em plantações na região de Cáceres, MT (Firmino et al., 2012).

O sistema para a recomendação de adubação para a teca, Fertteca® e a parametrização de modelo de crescimento baseado em processo 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growht) foi objeto de estudo por Maurel Behling (Behling, 2009). Em sua tese de doutorado na UFV, foi evidenciado o resultado satisfatório da ferramenta Fertteca® para o adequado manejo nutricional necessário à obtenção de altas produtividades.

"O Potencial da Teca Jovem" foi o primeiro evento voltado somente para a teca, realizado em 2009, em Cuiabá, MT, pela Arefloresta. Esse evento teve como objetivo divulgar os aspectos técnicos da madeira de teca jovem (7-18 anos) e sua aplicação como elemento estrutural, indústria moveleira e artefatos em madeira, buscando fomentar o mercado para a madeira de teca proveniente de desbastes.

Em 2010, um grupo de empresários ligados à Arefloresta, pesquisadores e profissionais participaram da "Primeira Reunião Latino-americana de Produtores de Teca", em San José

na Costa Rica, promovida pelo Genfores da Escuela de Ingeneria Florestal, Universidade Tecnológica de Costa Rica e pela Organização Latino-Americana da Teca (Organizacion Latinamerica de la Teca - OLAT), para a troca de experiências científicas e técnicas e mini-cursos na busca da aplicação de abordagens inovadoras para o cultivo da teca, por meio da cooperação entre os participantes. O grupo brasileiro se candidatou e foi escolhido para sediar o segundo evento no Brasil.

A "Conferência Florestal Internacional", realizada em novembro de 2011, San José, Costa Rica, com o tema "Florestas plantadas de teca - um recurso florestal emergente em nível global" foi o primeiro evento fora da Ásia realizado com a chancela da FAO/Teaknet, evidenciando a importância das plantações de teca das Américas e os produtores brasileiros foram a segunda maior delegação no evento. Ainda em 2011, o Ibama publicou a Instrução normativa 15, de 06/12/2011, desobrigando, a partir de então, a necessidade de autorização do órgão para a exportação de toras de teca (Brasil, 2011). Neste ano, a Empresa 4M Florestal iniciou seus plantios clonais no município de São José dos Quatro Marcos, MT.

Pontes (2011) aprimorou os sistemas Nutri-UFV-Teca® e Fert-UFV-Teca®, parametrizou e calibrou o modelo 3-PG para plantios de teca na região centro-sul de Mato Grosso. Esses estudos permitiram avanços, respectivamente, na diagnose do estado nutricional de plantios de teca de Mato Grosso e nas estimativas para as variáveis de crescimento e de produção de massa.

Em 2012, foi realizado o "2º Congresso Internacional da OLAT" em Cuiabá, MT, em parceria com a Arefloresta, que contou com mais de 400 participantes de 40 países dos cinco continentes: América (Norte, Central e Sul), África, Ásia, Europa e Oceania. Alguns participantes tiveram a oportunidade de visitar plantações de teca desde Alta Floresta, MT até Rosário Oeste, MT, das empresas: Bacaeri Florestal Ltda, Fazenda Tratex – Projeto Verde Novo, Viveiro Flora Sinop Ltda, Guavirá e Floresteca (TRC).

Ainda em 2010, a Secretaria Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) coordenou em Cuiabá, MT, uma reunião com as empresas: Bioteca, Cáceres Florestal e Proteca. Estas empresas trabalhavam com clonagem de teca e o objetivo era a sua integração com a UFMT, além de pesquisadores colaboradores da UFPR e Esalq, para estabelecer os descritores morfológicos mínimos para o registro de clones da espécie desenvolvidos no Brasil. As atividades foram iniciadas em 2011 e foram publicados três trabalhos (Miranda, 2013; Miranda et al., 2013; Baretta, 2016). Os dois primeiros foram realizados na Fazenda Cristo Rei, em Figueirópolis d'Oeste, MT, com cinco clones introduzidos no Brasil e materiais seminais. O terceiro, na Fazenda Paraguatuba da Cáceres Florestal em Cáceres, MT, com sete clones não comerciais selecionados de 25

matrizes de plantações da própria empresa. As características morfológicas estudadas não possibilitaram a distinção dos clones nos trabalhos, ainda que Miranda et al. (2013) tenha registrado diferenças morfológicas entre a região de origem dos clones.

Desde 2003 até 2009, a empresa Bioteca foi a única produtora de mudas clonais de teca no Brasil. Em seguida, a partir de 2010, as empresas Flora Sinop e Proteca também passaram a produzir mudas clonais. O Sr. Fernando Scognamiglio Torres, fundador da Proteca, em parceria com a Empresa 4M Florestal iniciou, a partir de então, as plantações clonais de teca na região de São José do Quatro Marcos, MT. No período de 2005-2011, a Cáceres Florestal manteve laboratório de biotecnologia para a multiplicação clonal e selecionou 25 matrizes de seus plantios seminais para estudos. Em janeiro de 2011, implantou um teste clonal de sete materiais, que foram avaliados por Baretta (2016). A Fazenda Tratex - Projeto Verde Novo, no período entre 2010-2015, produziu também mudas clonais de teca. Em novembro de 2013, a Verde Novo implantou testes clonais para avaliar o desempenho de 19 materiais clonados de matrizes selecionadas dos plantios seminais das empresas Bacaeri, da Guavirá e da Teca do Brasil, que foram instalados nos municípios de Alta Floresta, São José do Rio Claro e Nossa Senhora do Livramento, em Mato Grosso.

Com base nas experiências exitosas com o uso de eucalipto e grevílea em sistemas agrossilvipastoris no Brasil, em torno do ano de 2010, a teca passou a ser plantada neste sistema, associada ou não a algum cultivo agrícola nos primeiros anos. Nessas plantações foram utilizados clones, principalmente aqueles originados das Ilhas Salomão e Malásia. Como era de se esperar, o crescimento foi superior em relação aos plantios convencionais com material seminal. Nestes sistemas, Silva (2018) destacou a ocorrência de deslocamento de medula em intensidade superior aos plantios convencionais, a presença de displasia do DAP da linha em relação à entrelinha, além de não registrar a inflexão das curvas de incremento, até sete anos de idade, pois a competição da linha é compensada pela disponibilidade de espaço nas entrelinhas. Neste sistema, a desrama é conduzida anualmente para evitar a formação de nós no fuste comercial.

No período entre 2005-2014 foram publicados cerca de 150 trabalhos técnico-científicos sobre teca e alguns podem ser destacados. Com a atualização das “Regras de Análises de Sementes”, Brasil (2009) apresentou novos protocolos de pré-tratamentos para a análise de diásporos de teca e a base técnica foram trabalhos realizados com material das APS's da Cáceres Florestal (Caldeira; Caldeira, 2001; Caldeira et al., 2001, 2005; Caldeira; Vieira, 2001). Acerca de fatores que afetam o desenvolvimento da teca, em 2013, o Núcleo de Estudos em Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras publicou o livro “Patologia florestal: desafios e perspectivas” e um capítulo trata de “Doenças abióticas e bióticas da

teca no Brasil" (Caldeira, 2013). No ano seguinte, Caldeira et al. (2014) publicaram o capítulo sobre "Doenças da teca" no livro "Doenças de espécies florestais plantadas na Amazônia" editado pela Embrapa (Gasparotto et al., 2014).

Ao final de 2013, a Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (2013) apresentou o diagnóstico de florestas plantadas no referido estado e divulgou a área plantada com teca, por município, e o total de cerca de 64.800 ha. Dos 91 municípios levantados à época, em 40 deles existiam plantações com teca e foi registrada a distribuição da área plantada por região (Figura 10A) e o número de municípios agrupados por quantidade de área plantada (Figura 10B).

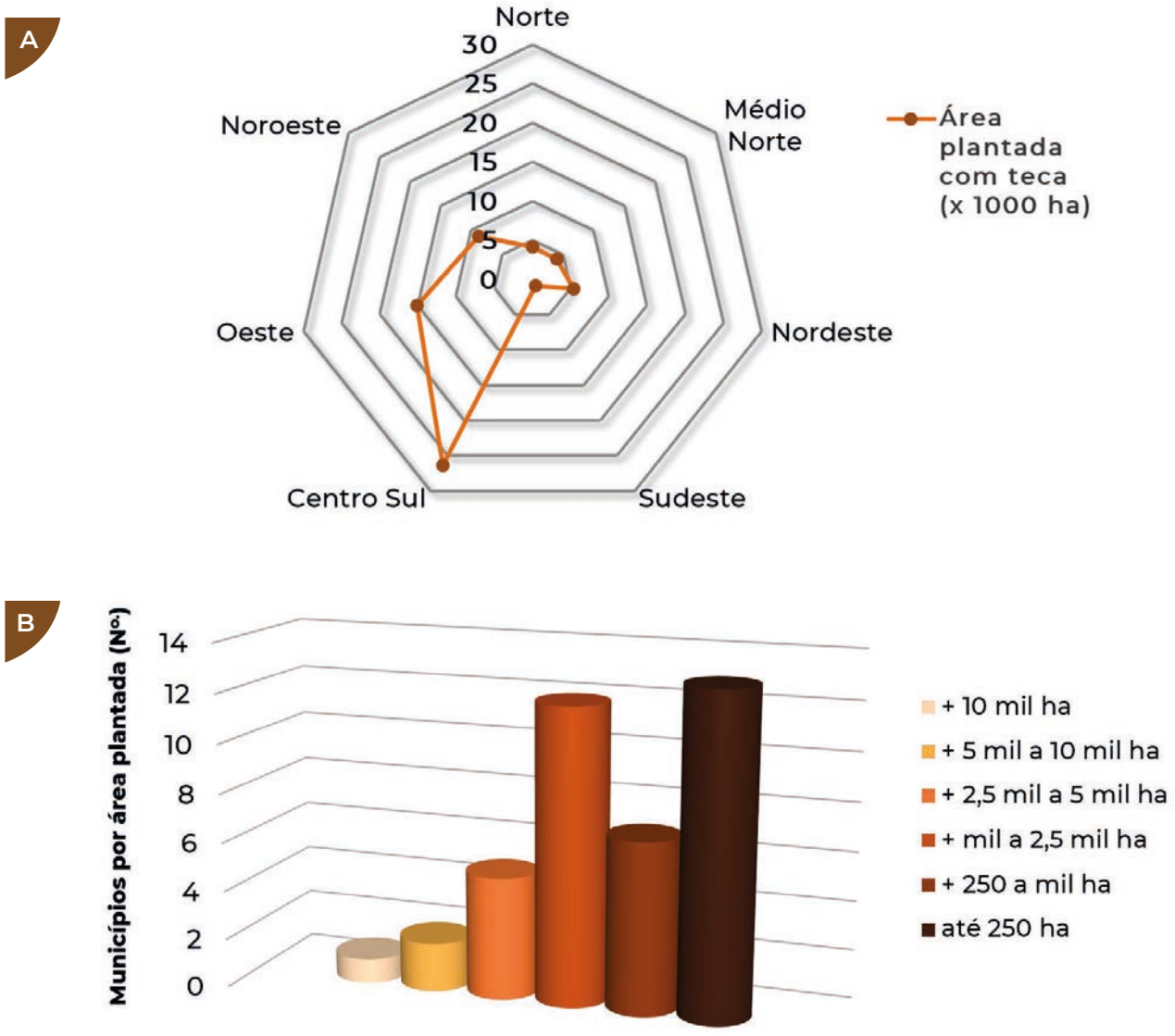


Figura 10. Distribuição da área total por região (A) e número de municípios em função da área total com plantações de teca, em Mato Grosso (B).

Fonte: Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (2013).

Em 2014, foi criada a IBÁ, a qual passou a publicar as estatísticas das plantações florestais no Brasil, com padrões semelhantes aqueles da Abraf, e que foi uma das fundadoras da IBÁ. De modo parecido, foi ressalvado que os dados poderiam estar subestimados em cerca de 10%, considerando que a base de dados estava restrita às informações de suas associadas (Indústria Brasileira de Árvores, 2014), que estimou para o Brasil a área com teca era de 88.270 ha em 2013.

Em 2014, houve também o registro do cancro da teca, causado pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, encontrado em plantações clonais do Mato Grosso (Borges et al., 2015). Em 2015, foi lançado o aplicativo "Entoteca", iniciativa do acadêmico de engenharia florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) - Campus Cáceres, Diego Arcanjo do Nascimento, sob a orientação do professor Alexandre dos Santos. O aplicativo permite ao usuário, pelo dano causado à teca, verificar o nome da espécie de inseto e auxiliar na tomada de decisão para o devido controle da praga.

A teca passou a fazer parte do "Relatório Rentabilidade do Meio Rural em Mato Grosso" a partir de 2015, estudo publicado anualmente pelo Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), em parceria com a Famato, com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Mato Grosso (Senar-MT) e com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com objetivo de apresentar os resultados de custos e a rentabilidade dos sistemas de produção que podem auxiliar o produtor rural a planejar o seu ano safra e a fazer o gerenciamento interno da propriedade rural (Rentabilidade..., 2015). Ainda em 2015, foi realizado em Cuiabá, MT, o evento "Florestar" que tratou do mercado, de inovação e de tecnologia de florestas plantadas, além do "I Congresso Florestal de Mato Grosso" promovido pela UFMT, no campus de Sinop, MT, onde a silvicultura de teca foi destaque em ambos os eventos.

Na última década, é necessário destacar a produção técnico-científica relacionada ao desempenho das plantações de teca, com o uso da geotecnologia e da geoestatística por Allan Libânio Pelissari da Universidade Federal do Paraná (UFPR) com 14 publicações; de Otávio Peres Filho da UFMT com oito publicações sobre entomologia e de Reginaldo Antonio Medeiros do IFMT, Campus Cáceres, com sete trabalhos relacionados à silvicultura de teca, além de outros artigos em que participaram como coautores.

Em 2017, o SNPC do Mapa retomou as atividades para estabelecer os descritores morfológicos para clones de teca, em conjunto com a UFMT e com as empresas produtoras de mudas clonais. Foi estabelecido um convênio e com a participação do PPG-CFA/UFMT e com a colaboração da Proteca e da Teak Resources Company (TRC), foi possível estabelecer os descritores morfológicos para a caracterização de clones de teca (Reategui-Betancourt,

2019; Reategui-Betancourt et al., 2020), além dos marcadores moleculares para a mesma distinção (Queiroz, 2020). Como consequência, em agosto de 2020, foi publicado o Ato Número 9 da Coordenação do SNPC, com os descritores mínimos para a proteção de cultivares de teca (Brasil, 2020).

A área plantada com teca no Brasil apresenta períodos de evolução e de estagnação. Desde 1971, com o início dos plantios comerciais em Mato Grosso, em quase uma década foram plantados cerca de 400 ha, média de 45 ha ano^{-1}. Passados pouco mais de 15 anos, em 1997, a área foi estimada em torno de 10 mil ha, média de 565 ha ano^{-1}. No período de 1997-2004, o aumento foi expressivo, média de 5 mil ha ano^{-1} e, neste período, a Floresteca (TRC) foi a empresa que mais expandiu suas áreas, principalmente no estado de Mato Grosso. De 2004-2007, houve relativa redução na média de área plantada anualmente, cerca de 1,2 mil ha ano^{-1}. A partir daí até 2013, a média anual atingiu o maior valor, cerca de 5,6 mil ha ano^{-1} e parte deste aumento está relacionado com os plantios da TRC Agroflorestal Ltda no estado do Pará. Nos últimos anos, este valor se reduziu para 1,1 mil ha ano^{-1} (Figura 11). A publicação mais recente apresentada por Brasil (2019) tem por referência os dados publicados pela IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2017). Na publicação da IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2020), com dados relativos a 2019, as informações sobre a área plantada com teca foram agrupadas em outras espécies, juntamente com a seringueira, a acácia e o paricá, sendo estimado o valor de cerca de 90 mil ha, que foi interpretado como a estagnação da área plantada com a espécie, como tendência observada desde 2013.

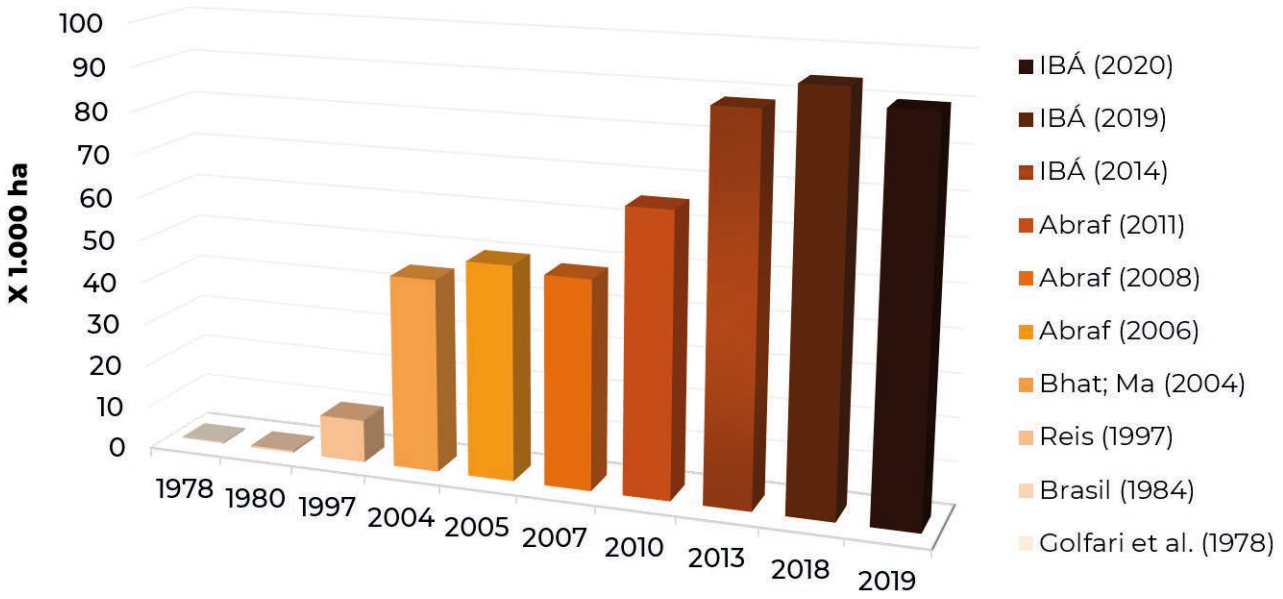


Figura 11. Evolução da área plantada com teca no Brasil.

Fonte: Os dados de Brasil (1984) são de 1980, e aqueles publicados pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2008) e pela Indústria Brasileira de Árvores (2014, 2019, 2020) são relativos ao ano anterior de cada publicação.

As possíveis diferenças entre os dados publicados pela Abraf (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2008) podem ser destacadas com os dados de Shimizu et al. (2007). Segundo estes autores, que efetuaram um levantamento detalhado dos plantios de teca no estado de Mato Grosso em 2007, a área plantada era cerca de 48 mil ha, enquanto os dados da Abraf (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2008) registravam para todo o Brasil a área reflorestada com teca de 48,6 mil ha, para o mesmo ano. A subestimação é comprovada, pois, em 2003, a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS) divulgou que, apenas no estado do Acre, os plantios de teca eram da ordem de 2 mil ha, além de outros plantios nos estados do Pará e Rondônia.

O Relatório de Mercado de Madeira Tropical da Organização Internacional das Madeiras Tropicais (ITTO) iniciou suas publicações em janeiro de 1996. Desde a primeira edição, o Brasil é referenciado em razão de sua importância na exportação de madeiras extraídas de suas florestas tropicais. Ainda assim, a primeira citação envolvendo a exportação de madeira de teca, como produto de plantações florestais no País, só ocorreu na edição de fevereiro de 2010, cujo preço de bloco variava de US$ 450,00 m^{-3} a US$ 475,00 m^{-3} (ITTO, 2010a). A partir daí, as citações foram periódicas, exceto no ano de 2012, quando o ITTO interrompeu a publicação dos relatórios. De modo geral, é publicada a faixa de preço dos produtos, de blocos quadrados (square) ou de toras (logs). Para referenciar, a variação dos preços máximos e mínimos desses produtos no Brasil foi comparada com os preços de toras exportadas pela Costa Rica (Figura 12) para o período de 2011 a 2020 e foi referenciado um relatório relativo ao final de cada ano de outubro, novembro ou dezembro (ITTO, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020). Um detalhe que não consta na figura é que, apenas em dezembro de 2010 foi divulgada a quantidade de madeira serrada (sawnlog) exportada pelo Brasil, cujo valor variou de US$ 450,00 m^{-3} a US$ 650,00 m^{-3} (ITTO, 2010b).

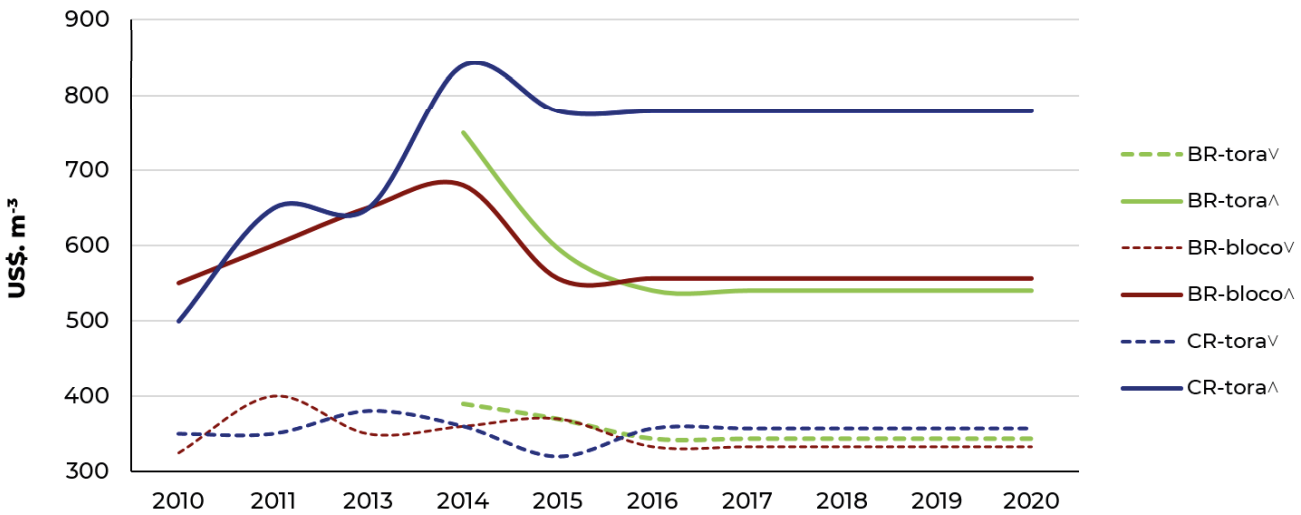


Figura 12. Variação dos preços mínimos e máximos, respectivamente, para toras (BR-toraV; BR-toraΛ) e para blocos quadrados (BR-blocoV; BR-blocoΛ) exportados pelo Brasil e de toras exportadas pela Costa Rica (CR-toraV; CR-toraΛ) desde 2010.

Fonte: ITTO (2010a, 2010b, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

futuro é a variação do preço máximo das toras exportadas pelo Brasil, com preços superiores no período de 2014-2016 e valor menor nos últimos quatro anos, além de similar ao valor máximo de blocos quadrados. Este aspecto se destaca na comparação com o preço máximo de toras exportadas pela Costa Rica, que sempre foi crescente desde 2010 e estagnou em patamar superior, US$780 m^{-3}, enquanto os produtos exportados pelo Brasil, em torno de US$550 m^{-3}. Ainda, na maioria das vezes, o preço referenciado é para volume m^3 Hoppus, ainda que expresso em metro cúbico.

De outro lado, na Costa Rica, muitas florestas estão em idade de colheita e essas toras são mais valorizadas. No Brasil, a maioria das áreas plantadas tem ofertado apenas toras provenientes de desbastes que, com diâmetro menores, são menos valorizadas. Atualmente, apenas a Empresa Cáceres Florestal realiza colheita de povoamentos com mais de 30 anos e, durante esta década, plantações de outras empresas também completarão o ciclo de rotação florestal e o produto ofertado deverá atingir preços superiores aos atualmente praticados.

Ainda que não existam levantamentos estatísticos específicos e recentes em termos de área plantada, mas com informações coletadas junto às associações de plantadores florestais dos Estados e dos principais produtores, é possível estimar que Mato Grosso detém a maior área brasileira plantada, em torno de 70 mil ha. Cerca de 60% do total do Estado está concentrado nas regiões: centro-sul e oeste.

No município de Alta Floresta, MT, em 2008, a Empresa Bacaeri foi pioneira no uso de sistema silvipastoril, com a implantação inicial de teca e pastagem posteriormente, com a inserção de gado bovino. Em 2009, no município de Araputanga, MT, a Empresa Terra Boa foi pioneira no uso de sistema agrossilvipastoril, com a implantação de linhas de teca juntamente com lavoura de milho e de soja nas entrelinhas e, no terceiro ano, a implantação de pastagem e, no ano seguinte, a introdução de bovinos. Algumas plantações em região de Cerrado, com solos mais rasos e com maior acidez, não apresentaram resultados satisfatórios, como nos municípios de Marcelândia, MT e Rondonópolis, MT. Na região norte de Mato Grosso, com maior precipitação pluviométrica, o período chuvoso associado à ocorrência de vento provoca a inclinação dos fustes de teca, principalmente entre o segundo e o terceiro anos de idade.

No estado do Pará, os primeiros plantios ocorreram na década de 1990, por meio de sua associação, onde pequenos produtores de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) frequentaram cursos de extensão sobre cultivo de teca na Empresa Cáceres Florestal e passaram a utilizar a teca como extrato arbóreo para sombrear a pimenta e diversificar a renda com a futura comercialização das toras de teca. Na região, outros empreendedores efetuaram

plantações em menor escala. Em 2001, na região próxima ao município de Redenção, PA, foi efetuado o plantio dos primeiros talhões que totalizaram cerca de 80 ha. Até 2004, foi plantada a média de 150 ha ano^{-1} e, em 2014, em torno de 60 ha ano^{-1}, totalizando mais de 600 ha, incluindo a introdução dos primeiros plantios clonais neste Estado. Atualmente, o Pará detém a segunda maior área plantada com teca, cerca de 25 mil ha, em razão das atividades da TRC Agroflorestal que se iniciaram em 2007, na região polo do município de Redenção, PA, implantando materiais seminais e clonais com grande representatividade das plantações no Estado. A região se destaca pela menor pressão sobre o preço e procura por terras, pluviosidade anual 20% maior que àquela em Mato Grosso, oferendo potencial produtivo, principalmente para os clones submetidos ao adequado preparo de solo e manejo silvicultural.

Ainda no estado do Pará, em 2008, a Empresa Reflorestamentos Produtivos da Amazônia (RPA) iniciou no município de Xinguara, o plantio em sistema agroflorestal que inclui a teca e o mogno-africano (*Khaya* sp.) como espécies arbóreas exóticas produtivas, juntamente com as autóctones mogno brasileiro, ipê, jatobá e outras, como espécies tutoras para sombreamento futuro do cacau (*Theobroma cacao* L.), além da banana. No primeiro ano, são implantadas as espécies florestais exóticas em linhas simples e em linhas duplas espaçadas de 3 m x 3 m e, nas entrelinhas, a banana e o cacau intercalados. O arranjo com as espécies florestais autóctones é quadrado de 12 m x 12 m. A banana é removida definitivamente após dois ou três anos de produção e, a partir daí, o sombreamento parcial do cacau será apenas com a teca ou o mogno-africano. Futuramente, as espécies exóticas serão desbastadas e colhidas, para que as espécies autóctones componham o extrato arbóreo para sombreamento permanente do cacau.

Outros estados com maiores áreas de plantações de teca são Rondônia e Acre, além de Goiás, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e até o norte do Paraná. Os primeiros plantios comerciais em Rondônia foram efetuados em 1992, pela Empresa Sulmap, no município de Pimenta Bueno. Pequenos agricultores produtores de café são responsáveis por uma parte das áreas plantadas, na forma de linhas entremeadas nos cafezais, principalmente na região sul, nos municípios de Ouro Preto d'Oeste, RO, Colorado do Oeste, RO e Espigão do Oeste, RO, os quais participaram dos cursos de extensão promovidos pela Empresa Cáceres Florestal.

Na Tabela 4 é apresentada a linha do tempo dos principais acontecimentos históricos da cultura da teca no território brasileiro a partir de 2000.

Visão de futuro

Tabela 4. Linha do tempo com os principais acontecimentos históricos na cultura da teca após o ano 2000, no Brasil.

ANO	ACONTECIMENTO	
2000	Início do corte final dos primeiros plantios da Empresa Cáceres Florestal S.A. Plantio de teca pelas empresas Ecoflorestal Ltda, R. A. Nederlof & Cia e Soroteca Agro-Florestal Ltda, com a atração de capital estrangeiro.	O SÉCULO XXI
2001	Primeiro projeto de teca aprovado no Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO), para fins de financiamento, pela antiga Empresa Tecamat, atualmente Teca do Brasil. Primeiro registro no Brasil da lagarta *Hyblaea puera* em folhas de teca.	
2003	Início dos plantios com materiais clonais superiores de teca pela Empresa Floresteca S.A. (TRC). Publicação do Nutriteca®, por José Roberto Victor de Oliveira.	
2004	A Empresa Tectona Agroflorestal Ltda é detentora do segundo empreendimento com teca no Brasil a receber certificação Forest Stewardship Council® (FSC®).	
2005	A Empresa Cáceres Florestal S.A. é detentora do terceiro empreendimento com teca no Brasil a receber certificação FSC®.	
2006	Publicação com a distribuição de áreas plantadas com teca e outras espécies florestais no Brasil, na primeira edição do anuário da Abraf. Publicação do primeiro livro sobre teca no Brasil, "A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. (*Verbenaceae*) no estado de Mato Grosso", por Otávio Peres Filho, Alberto Dorval e Evoneo Berti Filho.	
2007	Publicação do "Diagnóstico das plantações florestais do Mato Grosso", com relato da ocupação de 33% da área pela teca, por Jarbas Yukio Shimizu, Haroldo Klein e José Roberto Victor de Oliveira. Lançamento do SisTeca®, simulador de crescimento e produção para o manejo de plantações de *Tectona grandis*, por Edilson Batista de Oliveira.	
2009	Primeiro registro no Brasil da ferrugem da teca, causada por *Olivea neotectonae*. Publicação do Fertteca®, por Maurel Behling. Primeiro registro no Brasil da murcha-da-teca causada por *Ceratocystis fimbriata*. Realização do Seminário "Potencial da teca jovem" em Cuiabá, MT.	

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

ANO	ACONTECIMENTO
2010	Primeira reunião de produtores de teca da América Latina, com participação marcante de comitiva de empresários brasileiros, em San José na Costa Rica.
2011	Conferência Florestal Internacional FAO/Teaknet “Florestas plantadas de teca - um recurso florestal emergente em nível global”, em San José na Costa Rica. Plantio de clones de teca pela Empresa 4M Florestal, com investimento de capital estrangeiro. Publicação da Instrução Normativa no 15 do Ibama, de 06/12/2011, que desobriga a necessidade de autorização por parte do órgão, para a exportação de toras de teca.
2012	Segunda reunião de produtores de teca da América Latina, com participação marcante de comitivas estrangeiras, em Cuiabá, MT. O Grupo Soroteca é o quarto empreendimento com teca no Brasil a receber certificação FSC®.
2013	Publicação do “Diagnóstico de Florestas Plantadas” com registro de 64,8 mil ha ocupados pela teca no estado de Mato Grosso, pela Federação da Agricultura e Pecuária do estado de Mato Grosso (Famato).
2014	Primeiro registro no Brasil do cancro da teca, causado por *Lasiodiplodia theobromae*.
2015	Conferência Mundial da Teca, FAO/Teaknet/Asoteca/Sambito, “Fortalecimento dos recursos e mercados globais de teca para o desenvolvimento sustentável", no Equador. Início da divulgação da cultura da teca, em monocultura e em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com a publicação do Relatório de Rentabilidade no Meio Rural em Mato Grosso, por meio de parceria entre o Imea, Famato/Senar-MT e a Embrapa Agrossilvipastoril. Lançamento do aplicativo "Entoteca" para a identificação de pragas e recomendações de controle, por acadêmico do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) de Cáceres.
2020	Publicação do Ato nº 9 do SNPC/Mapa, de 03/08/2020, com os descritores mínimos para a proteção de cultivares (clones) de teca. Primeiro registro no Brasil de seca do ponteiro e podridão do colo da teca, causado por *Kretzschmaria zonata*.

O futuro das plantações de teca pode ser associado a fatores favoráveis e desfavoráveis, com variação quanto ao grau de dificuldade, quanto ao tempo necessário, quanto aos custos e aos agentes envolvidos para desenvolver as soluções. Em razão da dificuldade do tema, serão apresentados e discutidos alguns aspectos pontuais do cultivo da espécie e abordagem genérica das questões de logística e comercialização da madeira de teca.

Existem vários estímulos para plantar espécies florestais, que podem priorizar critérios ecológicos ou silviculturais associados à espécie, critérios de mercado associados à oferta e à procura e, ou valor de seus produtos, critérios subjetivos associados ao desejo ou ao prazer do cultivo florestal, além das diferentes combinações. Qualquer que seja a motivação, o conhecimento técnico representa a base para o sucesso, ao considerar que a atividade florestal se caracteriza como um investimento de médio a longo prazo.

Ainda que as plantações industriais de eucalipto sejam consideradas de curto prazo, este não é o caso da teca, cuja rotação de plantações seminais para a produção de toras é em torno de 25 anos, ainda que existam previsões para 20 anos. Para as plantações clonais, existe a perspectiva otimista de rotação abaixo de 20 anos. A questão fundamental a ser associada ao período de rotação é a dimensão da tora a ser produzida no corte final, sem confundir o período ideal apenas à redução ou estagnação do incremento em diâmetro, área basal ou volume, mas também associar a maturação fisiológica da árvore com o estoque máximo de cerne. Isso é fundamental para a teca, pois a maior presença de alburno desqualifica o valor da tora ou da peça de madeira produzida.

O futuro é uma questão complexa, mas amplamente discutida na área técnica, principalmente na forma de prognóstico do crescimento e da produção florestal. Segundo Favalessa (2018), os trabalhos de modelagem de crescimento são fundamentais para as decisões quanto ao planejamento e à estruturação da produção e, assim, melhorar a gestão dos recursos florestais. Um pressuposto que deve estar incluso nos trabalhos de prognóstico é a discriminação do sítio e das características do genótipo utilizado, além das práticas de manejo silvicultural e operacionais implementadas. Assim, o uso do prognóstico está condicionado à similaridade e o efeito de fatores extemporâneos afetarão o prognóstico, se omitidos na coleta e na modelagem dos dados.

Os fatores extemporâneos podem ser de origem biótica e abiótica. As causas de origem biótica estão associadas principalmente aos insetos ou pragas, e o tema foi abordado por diversos autores (Peres Filho et al., 2006; Moura et al., 2008; Paes et al., 2012, 2014; Silva et al., 2013; Peres Filho, 2016; Santos et al., 2020). Ainda de origem biótica, são as anomalias decorrentes da ação de microrganismos ou doenças, e o tema foi abordado por Caldeira

(2013) e Caldeira et al. (2014), além de ser abordado neste livro, em capítulo específico. Quanto às causas de origem abiótica, estas podem estar associadas às condições climáticas adversas, às práticas silviculturais aplicadas em intensidade e, ou em períodos inadequados (Caldeira, 2013; Caldeira et al., 2014), ou solo com características físico-químicas não adequadas ao cultivo da teca (Matricardi, 1989; Pelissari et al., 2012, 2013, 2014).

Questões abióticas e bióticas

A escolha do sítio é a fase inicial e será determinante para o sucesso da plantação de teca. Complementarmente, estão as opções pelos plantios do tipo seminal ou clonal, a procedência do material genético utilizado, além do histórico de desempenho satisfatório sob o ponto de vista de crescimento, desenvolvimento e tolerância aos fatores abióticos e bióticos. Um aspecto a ser considerado para o futuro é a seleção de materiais genéticos de teca que apresentem desenvolvimento satisfatório, quanto ao retorno do investimento, para cultivo em solos de menor qualidade em relação aos que atualmente são selecionados para plantio.

Essa questão é complexa quando associada à localização geográfica dos sítios considerados adequados ao cultivo da teca no Brasil. Essas áreas são descontínuas e se concentram na região Centro-Oeste, ao sul do Pará, em Rondônia e no Acre, desde que o solo seja profundo, de relativa fertilidade, de pH neutro ou pouco ácido e, principalmente, de textura média. Nesse aspecto, essas regiões estão geograficamente localizadas na parte central da América do Sul, distante dos portos de exportação e das regiões Sul e Sudeste, onde se concentram os maiores consumidores de madeira no Brasil. Ações para diminuir o custo de transporte poderão envolver melhoria da malha rodoviária, ampliação e acessibilidade das vias e serviços ferroviários, hidroviários e portuários, maior agilidade nos processos e trâmites fitossanitários e alfandegários, nível de interferência governamental nas relações dos serviços de transporte e maturidade da cadeia de serviços em logística, voltados para a cadeia da madeira de teca.

Outro importante fator abiótico a ser considerado para o cultivo da teca é a ação de ventos, considerando sua baixa resistência à inclinação, quebra de ramos da copa e do fuste ou, mesmo, à quebra da copa e do próprio fuste. Em plantios seminais, entre 2-3 anos de idade, é comum a ocorrência de arqueamento do fuste, principalmente com a combinação de precipitação pluviométrica e vento. Nas idades iniciais, a proporção entre o diâmetro e a altura é desfavorável à sustentação da copa de teca que tem folhas de grandes dimensões, espessas e que, quando molhadas, têm a sua massa aumentada, não sendo sustentada pelo fuste relativamente fino. Este fenômeno é menos comum em clones de teca, cujas folhas

são menores que as seminais, ainda que apresentem internódios de menor dimensão e, consequentemente, maior quantidade de ramos. Contudo, uma parte desses clones têm ramos mais curtos. De outro lado, isto se reflete na operação de desrama e são questões importantes no tempo de operação e no custo do tratamento silvicultural.

Ainda sobre a ação de ventos nos plantios seminais, entre o quarto e o sexto ano de idade, é comum a ocorrência de quebra de ponteira, de quebra parcial da copa e de quebra de fuste. A frequência média deste evento é 40% nos plantios seminais. De outro lado, em plantios clonais em região sujeita à ação de ventos fortes, aos quatro anos de idade, Miranda (2013) registrou que três clones apresentaram entre 50-60% de copas quebradas e outros dois clones e o seminal entre 20-30%. Na mesma plantação, aos seis anos de idade, Gava (2015) registrou aumento na frequência média para 79% de danos na copa para os clones, variação entre 64-97%, enquanto nas plantas seminais o aumento foi 42%. Ainda assim, o volume produzido pelos clones foi superior, quando comparado com aquele de plantas seminais. A questão a ser considerada está relacionada às consequências na tora remanescente que será produzida, em razão da exposição da medula e do alburno à ação da umidade e de agentes bióticos. É necessário, complementarmente, lembrar que a reposição do volume da copa demandará energia da árvore e alguma consequência na taxa de crescimento. Assim, devem ser realizadas pesquisas com materiais genéticos que expressem maior resistência ao vento.

Uma questão importante, considerada nos programas de melhoramento de teca, é a suscetibilidade aos patógenos, com destaque à murcha-de-ceratocystis, causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* e à ferrugem, causada por *Olivea neotectonae*. Existem clones comprovadamente resistentes à ferrugem e estudos com clones resistentes à murcha. Em plantios seminais ocorrem indivíduos suscetíveis e resistentes e, estes últimos, representam fontes de materiais para pesquisas em melhoramento genético. Outros dois patógenos foram registrados em teca no Brasil, o causador do cancro na teca por *Lasiodiplodia theobromae* e, mais recente, foi publicado por Alfenas et al. (2021), a ocorrência *Kretzschmaria zonata* no Mato Grosso, causando sintomas de seca de ponteiro e podridão no colo das árvores de teca, aos quais deve ser dada a devida atenção.

Ainda sob fatores bióticos, a ação da lagarta esqueletizadora (*Hyblaea puera*) e a ocorrência de cochonilhas, tal como a cochonilha-rosada (*Maconellicoccus hirsutus*), também são questões importantes a monitorar nas plantações de teca. A ocorrência intensa de cochonilha, a partir de 2014, foi inicialmente observada em plantações de teca com dez anos de idade no Brasil e que estavam excessivamente adensadas, em razão de desbaste omitido por mais de três

anos. Posteriormente, por mais 2-4 anos, foram observadas em menor intensidade em outros povoamentos e, com a aplicação de desbaste, não houve registro de outras ocorrências.

Quanto à lagarta esqueletizadora, além de relatos pontuais de aspecto endêmico, ocorreu registro de um caso de maior intensidade ao final de 2012, em área com cerca de 400 ha na região sudoeste de Mato Grosso. Previamente, em agosto e setembro daquele ano, ocorreu passagem de fogo de origem externa à plantação, que consumiu a serapilheira e calcinou parcialmente a casca na parte mais baixa do fuste das árvores. Os danos físicos foram poucos e não ocorreu mortalidade. Contudo, a ação do fogo estimulou maior quantidade de brotação das árvores e, em seguida, ocorreu intenso ataque da lagarta em 80% da área e o restante com baixa intensidade. Na sequência, a presença de parasitoides da lagarta aumentou e houve controle natural da praga. O assunto requer estudos pelo potencial que representa como medida de controle biológico, e o tema foi tratado por Oliveira et al. (2014) e, complementarmente, sedimentar a necessidade e estimular o cuidado com os aceiros, elaboração de programas de prevenção e combate aos incêndios florestais.

Questões técnicas

A qualidade dos produtos é um aspecto que pode tanto parcialmente compensar os custos de transporte e logística quanto aumentar o valor das toras ou dos blocos produzidos. Além das características genéticas do material plantado, parte da qualidade das toras está relacionada às desramas, que evitam ou diminuem a quantidade de nós vivos ou mortos no fuste comercial e, outra parte, ao manejo silvicultural da densidade populacional, com a aplicação de desbastes durante o período de rotação, além dos cuidados preventivos ou curativos às ações de agentes bióticos e abióticos. A desrama é uma operação demorada e de alto custo, exigindo a seleção de genótipos com ramagem que diminua a duração e o número dessas operações. É importante que sejam conduzidas pesquisas relacionadas à época mais adequada de aplicação da desrama, que diminua as brotações posteriores, com produtos que inibam as brotações, além de desenvolver equipamentos eficientes para aumentar o rendimento operacional e que resultem em diminuição de custos.

Quanto ao desbaste, o tipo, a intensidade e a frequência desta operação são variáveis e as decisões de ordem técnica devem considerar vários aspectos. Nos estudos recentes, o foco está na morfometria das árvores da população e na idade técnica da aplicação do desbaste. Contudo, a maior ou menor demanda por produtos madeireiros poderá antecipar ou adiar a operação em 1-2 anos, respectivamente. O melhoramento florestal deve também

priorizar a forma e a qualidade do fuste. A remoção de árvores de maiores diâmetros nos primeiros desbastes certamente implicará em alguma redução no diâmetro médio das árvores na colheita, onde se espera o maior retorno. Contudo, árvores tortuosas, com defeitos ou ferimentos no fuste, ainda que de maior diâmetro, poderão ser removidas, pois resultarão em toras de menor qualidade e, quando desdobradas, em peças de madeira de menor dimensão e ambas serão, consequentemente, menos valorizadas.

Outro aspecto é o tipo de seleção utilizado na marcação das árvores, principalmente para as plantações seminais. Tradicionalmente, a seleção das árvores se estabelece antes do segundo desbaste, com a marcação dos indivíduos de melhor qualidade e que serão mantidos para o corte final e os indivíduos contíguos de pior qualidade serão removidos, na intensidade planejada, nos desbastes seguintes. Essa seleção é denominada "positiva".

Ao se considerar que existe mercado para o produto do desbaste, o uso da seleção "negativa" deve ser considerado e pesquisado. Neste caso, as árvores não desejadas são marcadas para o primeiro corte, na intensidade planejada, em grupos de 10-20 árvores do povoamento e removidas. Nos desbastes seguintes, a avaliação é novamente efetuada e a remoção é semelhante. Critérios para este tipo de seleção e a forma de aplicação foram apresentados por Caldeira e Oliveira (2008). Assim, em média, a população remanescente ao desbaste apresentará melhor qualidade e igualmente os produtos dos desbastes subsequentes. Em plantações clonais, o processo de seleção foi efetuado previamente e a população é mais homogênea que as seminais. Assim, se as árvores não apresentarem danos no fuste, a opção pode ser o desbaste sistemático e, no caso de presença de árvore com danos, a opção será o desbaste misto e associado o critério de sistematização à seletividade, com remoção das árvores de fustes danificados.

Na colheita florestal, o corte final disponibilizará as árvores de maior valor, em razão do volume e da qualidade da madeira, associada ao fuste ereto, circular e sem defeitos. Um aspecto que carece de estudos é o período necessário para a maturação fisiológica da árvore, desde o último desbaste até que apresente a menor quantidade de alburno e, consequentemente, a maior quantidade de cerne. A diminuição ou a estagnação do crescimento em diâmetro, área basal ou volume, não necessariamente ocorre de forma concomitante com a maior relação cerne/alburno. Assim, o monitoramento, a quantificação e a associação destas condições definirão o momento adequado para a colheita florestal.

Complementarmente, tanto no corte final quanto nos cortes parciais, é sempre prudente associar o volume da medição das árvores no campo ao menor volume das toras colhidas ou desbastadas, em razão da perda de umidade com a secagem. Em trabalhos

com análises de troncos associadas às medições de campo foram registradas diferenças de 20-30% de redução no DAP para a teca e outras espécies. Finalmente, outro aspecto importante está relacionado com os diferentes tipos de produtos que podem ser obtidos com a madeira, a partir dos fustes das árvores de teca, conforme foi tratado por Rocha (2018), que estudou o afilamento e a otimização de sortimento da teca para a maximização do volume de madeira e da renda.

Exclusivamente para os plantios seminais, a técnica de regeneração natural por alto fuste utiliza o banco de sementes, formado na plantação com os diásporos dispersos por barocoria, principalmente a partir do último desbaste. Este banco apresenta certo grau de seleção em função dos desbastes previamente aplicados. Segundo Matthews (1991), a técnica foi descrita em 1952 por Robert Scott Troup (Troup, 1952), mas não era utilizada, principalmente em razão da disposição irregular das mudas regeneradas, exigia muitas capinas para evitar o afogamento das mudas e, consequentemente, maior custo. A Empresa Cáceres Florestal realizou as adequações técnicas e regenera os povoamentos colhidos, desde o início do século. As características do banco, efeitos da serapilheira, descrição do processo e as características do terceiro desbaste de um dos primeiros povoamentos assim regenerados foram estudados por Siqueira (2017), Caldeira et al. (2018) e Corrêa (2019).

Temas técnicos mais recentes em processo de pesquisa e em plena evolução tratam do monitoramento do desempenho das plantações de teca, com o uso da geotecnologia e da geoestatística, a partir da coleta de dados, na forma de inventários convencionais ou com equipamento remotamente pilotado. Essa importante ferramenta de diagnóstico maximiza o tempo e os recursos na coleta de dados para subsidiar a aplicação de técnicas silviculturais adequadas, para correção ou adequação do estado atual do povoamento de teca, para sua transformação no povoamento desejado e, assim, atender aos objetivos de produção. Maiores informações acerca deste tema são apresentadas no capítulo de geotecnologias deste livro.

É também necessário destacar as pesquisas com teca em sistemas agrossilvipastoris, nos diversos tipos de arranjos, considerando o valor da sua madeira em relação às outras espécies florestais utilizadas. Questões importantes neste sistema estão relacionadas ao deslocamento da medula, à displasia entre o DAP da linha e da entrelinha, além de indefinição da época adequada de aplicação de desbastes (Silva, 2018). Devido à baixa densidade de plantio de árvores neste sistema, entre 200-250 árvores ha^{-1}, existe pouca disponibilidade de indivíduos a serem selecionados, sendo necessária a seleção prévia de genótipos que apresentem as características de fuste cilíndrico, resistentes ao vento, com galhos mais finos e curtos, além de pouco propensos à formação de copa baixa. O uso de materiais seminais

não é recomendável para estes sistemas em razão da heterogeneidade dos indivíduos para estas características. Damásio et al. (2015) não encontraram diferenças entre a aplicação de diferentes intensidades de desbaste seletivo em sistema ILPF. Outras informações sobre esse tema são apresentadas no capítulo sobre teca em sistemas ILPF presente neste livro.

Nos últimos dez anos, a tendência foi o aumento da área plantada de clones em relação ao material seminal, ampliando ainda mais a necessidade de estudos para a compreensão das diferenças e dos avanços que a silvicultura clonal podem propiciar para a teca, tais como: ampliação da sua aptidão para diferentes tipos de solos anteriormente não viáveis; alteração nos regimes de desrama, desbaste e manejo nutricional; comportamento diferenciado em relação às pragas; novas curvas de crescimento e produção e, também, melhorias na qualidade da madeira. De acordo com Ugalde (2013), os resultados encontrados em plantações clonais testadas nos mais variados tipos de solo e condições climáticas evidenciam que seu uso sensato possibilitou o aumento da produtividade de volume comercial de madeira e de melhor qualidade, oportunidade que deve trazer vantagens tanto para pequenos produtores, empreendimentos em larga escala e inclusão da teca em sistemas de integração com a pecuária e a lavoura.

Outro aspecto a ser estudado é a geração de resíduos nos cortes parciais e na colheita final das plantações de teca. Ainda que o volume de madeira comercializado nos desbastes iniciais oscile entre 20-25 m^3 ha^{-1}, o volume total das árvores extraídas varia entre 50-60 m^3 ha^{-1}. Parte desse volume é da copa e permanece no campo, mas é relativamente pequeno, e a outra parte, em algumas localidades, é utilizada como fonte de energia, na forma de lenha. Outra parte de resíduos maiores advém do preparo de toras para serem comercializadas, quase sempre resultante de tortuosidade, defeitos no fuste ou de caneluras irregulares na base do fuste. Quando a madeira é comercializada em blocos, aumenta a quantidade de resíduos, resultante das costaneiras, do pó-de-serra ou de descarte parcial de peças com danos internos, normalmente decorrentes de ferimentos físicos no fuste de causas bióticas e abióticas, ocorrido em idades anteriores.

Em muitas localidades, existem demandas desses resíduos para uso energético, transformando-os em cavaco, pó-de-serra ou para combustão direta das costaneiras e toras de pequenas dimensões. Outra opção para blocos com defeitos é o desdobro em peças menores e a sua utilização em paletes, em armações internas de móveis e, até, como escoras para plantações de espécies que necessitam de suporte mecânico para o crescimento. Existe também o uso artesanal para parte desses blocos ou, mesmo, parte das toras com defeitos. Contudo, nos Estados onde este resíduo é produzido, o mercado é pequeno e o

baixo valor desses produtos não viabiliza o transporte para outras localidades, onde é maior o potencial de consumo.

A agregação de valor aos produtos é uma questão importante para o futuro. A exportação está concentrada em toras de teca de melhor qualidade e maiores dimensões, principalmente para a Índia, que opta por este produto, em razão do menor custo, para gerar serviços artesanais junto à sua população, além de contar com a demanda dos resíduos como fonte de energia. O mercado indiano adquire toras com casca e com diâmetros a partir de 16 cm, mas os preços mínimos e máximos não variam para este produto na forma de tora ou de bloco (Figura 12).

No mercado interno, existe ampliação do uso da madeira de teca, contudo é necessário destacar a diferença entre a madeira de cerne e a de alburno e associar produtos mais adequados para cada tipo de madeira, bem como atribuir e destacar a qualidade superior aos produtos fabricados com o cerne. Além disso, há necessidade de que o consumidor seja esclarecido quanto a estas diferenças, em busca da valorização da teca e de sua madeira.

Existem outras filigranas a serem trabalhadas, algumas relacionadas à coloração diferenciada da madeira de alguns genótipos e à forma de cultivo, em função do tamanho dos anéis de crescimento desejado, de modo a atingir nichos de mercado mais exigentes, ocupar o mercado que não é possível atender com a madeira nativa nobre e, consequentemente, de maior valor e acesso mais complexo. Sua ampliação no mercado doméstico ainda é modesta, sendo as razões atribuídas ao alto valor da madeira de teca, quando comparada às alternativas existentes no País e a carência de know-how do segmento industrial de madeira sólida para a espécie.

Considerações finais

A demanda crescente por madeira tropical nobre, produzida de forma sustentada, aliada às vantagens da teca quando comparadas às alternativas de espécies tropicais e know-how em plantações florestais comerciais homogêneas foram a base para o Brasil ocupar lugar de destaque mundial na tecnologia de produção e exportação da madeira de teca oriunda de florestas plantadas.

O avanço dos plantios de teca no Brasil foi marcado pelo pioneirismo, visão de futuro e dedicação de diferentes atores, ao longo das diferentes fases da sua história no País.

Merecem destaques, o Engenheiro Agrônomo Luis Flávio Veit, que já visualizava a futura escassez de madeira tropical de alto valor, em época que sua oferta era abundante, acreditando nas pouquíssimas informações disponíveis sobre a espécie no Brasil, como no ensaio silvicultural de teca instalado pelo professor Helladio do Amaral Mello; as diversas empresas citadas neste capítulo, oferecendo oportunidade e estruturando negócios com base na teca como alternativa de investimento e alavancando a sua expansão; universidades como UFMT e IFMT de Cáceres, cujos pesquisadores ajudaram a preencher várias lacunas para o avanço tecnológico da cultura da teca; a introdução e a expansão da silvicultura clonal, resultado das iniciativas do engenheiro florestal Sylvio de Andrade Coutinho Neto e do biólogo Fernando Scognamiglio Torres e, também a atuação de entidades representativas do setor, como a Arefloresta, ajudando a quebrar barreiras regulatórias desnecessárias e importantes para a melhoria do ambiente de negócios envolvendo a teca.

Tais iniciativas foram e ainda são tomadas no sentido de vencer os diversos desafios para a expansão e melhoria da competitividade da teca brasileira, dentre elas, o longo ciclo de produção de 20 anos ou mais; intensa necessidade de capital no início do empreendimento contrastando com a receita concentrada no corte final; dificuldades na comercialização e industrialização de toras de menores dimensões, principalmente aquelas provenientes dos desbastes iniciais; ineficiência logística e burocracia no escoamento da produção; geração e disseminação da tecnologia de produção de madeira de teca.

Há um aumento crescente no interesse dos produtores pela validação de boas práticas de manejo da teca, em conformidade com os aspectos sociais, ambientais e econômicos, assegurando, desta forma, a sustentabilidade do setor, bem como participar de oportunidades e vantagens na geração de créditos por serviços ambientais e por ações de mitigação dos efeitos da mudança climática e, evidentemente, participar de mercados para a madeira de teca que são mais exigentes quanto ao compromisso de sustentabilidade.

Cabe a todos buscar as soluções para aumentar esse padrão. Inúmeros atores colaboraram, outros estão em atividade e certamente novos surgirão para que essa evolução histórica continue. Seja um deles.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2006**: ano base 2005. Brasília, DF: Abraf, 2006. 80 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2008**: ano base 2007. Brasília, DF: Abraf, 2008. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF: Abraf, 2011. 130 p.

ALFENAS, R. F.; ARENHART, M. L.; ALEXANDRE, F. S.; MAITAN-ALFENAS, G. P. Root collar rot, a new lethal disease on *Tectona grandis* caused by *Kretzschmaria zonata* in Brazil. **Plant Disease**, v. 105, n. 1, p. 221, 2021. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0641-PDN.

ALVARES, C. A.; CEGATTA, I. R.; VIEIRA, L. A. A.; PAVANI, R. F.; MATTOS, E. M.; SENTELHAS, P. C.; STAPE, J. L.; SOARES, R. V. Perigo de incêndio florestal: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 521-532, 2014.

ARANHA, J.; BROTERO, F. A. A madeira da taiúva nas construções navais. **IPT**, n. 3, p. 1-4, 1939.

ASSIS, J. B. Percepções e prospecções sobre políticas públicas para a cadeia produtiva florestal brasileira. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 39, p. 65-76, 2014. Disponível em: http://200.130.27.16/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/740/678. Acesso: 23 jul. 2020.

AMAZON TEAK FOUNDATION. **It pays to invest in nature**.Amsterdam, 1995. 27 p.

BARETTA, M. C. **Crescimento e caracterização morfológica de clones de teca no sudoeste de Mato Grosso**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT. Disponível em: https://www1.ufmt.br/ufmt/un/publicacao/ppgcfa?busca=baretta&filtro=autor&categoria=. Acesso em: 8 jun. 2020.

BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BEYSE, V. R. Erfolgreiche einrichtung einer teakplantage in Brasilien. **Forst und Holz**, v. 46, n. 20, p. 563-564,1991.

BHAT, K. M.; MA, H. O. İProductores de teca, uniros! **Actualidad Forestal Tropical**, v. 12, n. 1, p. 3-5, 2004.

BORGES, R. C. F.; SANTOS, M. D. M.; MACEDO, M. A.; MARTINS, I; NASCIMENTO, A. G.; CAFÉ-FILHO, A. C.; BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N.; INÁCIO, C. A.; MELLO, S. C. M. A trunk canker disease of *Tectona grandis* induced by *Lasiodiplodia theobromae* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 31, p. 26, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.031.026.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Diagnóstico do setor florestal do estado de Mato Grosso**. Brasília, DF: IBDF, 1984. 374 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. Instrução Normativa no 15, de 06 de dezembro de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 234, s. 1, p. 66-67, 07 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em resumo**: 2019. Brasília, DF: Mapa/SFB, 2019. 207 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa, 2009. 395 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária/ Departamento de Sanidade Vegetal e Insumos Agrícolas. Coordenação do Serviço Nacional de Proteção de Cultivares. Ato n° 9, de 03 de agosto de 2020. Instruções para execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de teca (*Tectona grandis* L.f.). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 148, s. 1, p. 1, 04 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Minagri, 1992. 365 p.

BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia. **Características silviculturais de espécies nativas e exóticas dos plantios do Centro de Tecnologia Madeireira**: Estação Experimental de Curuá-Una. Belém, PA: Sudam, 1979. 351 p.

BRUCE, J. Brazilian teak plantation celebrates first exports owners tackle deforestation issue. **The Journal of Commerce**, New York, Aug 15, 1993a. Disponível em: https://www.joc.com/node/2485831/devel/load-by-uuid?page=1. Acesso em: 8 jun. 2020.

BRUCE, J. Quien a buen árbol se arrima... **América**, v. 35, n. 76, p. 35, 1993b.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres, 2006. 32 p. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do reflorestamento da teca**. Cáceres, 1997. 30 p.

CÁCERES FLORESTAL. **Plano de manejo florestal sustentável**: Resumo abril/2019. Versão 7. São Paulo, SP: CA/GF Consultores Associados, 2019. 18 p. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Plano_de_Manejo_Florestal_da_Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; ALBUQUERQUE, M. D. F. Comparação entre tratamentos pré-germinativos para análise de unidades de dispersão de teca, *Tectona grandis* L. f. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Abrates. 2001. 1 CD.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; BÍLIO, R. S. Macerações como pré-tratamento germinativo em diásporos de *Tectona grandis* L. f. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 15., 2005, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Curitiba: Abrates. 2005. 1 CD.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F. Efeito da imersão prévia em água e períodos de aquecimento, na viabilidade de sementes de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Agricultura Tropical**, v. 5, n. 1, p. 45-55, 2001.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; MENDONÇA, E. A. F.; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L. f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.

CALDEIRA, S. F.; CORRÊA, B. M. B.; CAVALCANTE, G. C. A. Produção de desbaste aos quinze anos de idade de povoamento de teca regenerado por alto fuste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAIS, 10., 2018, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2018. p.1412-1416. Disponível em: https://sigeventos.ufrn.br/evento/xsimposflorestais/documentos/view. Acesso em: 8 fev. 2020.

CALDEIRA, S. F. Doenças abióticas e bióticas da teca no Brasil. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M.; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia florestal**: desafios e perspectivas. São Carlos: Suprema, 2013. p. 219-244.

CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. S. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 223-228, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000200005.

CALDEIRA, S. F.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G. Doenças da teca. In: GASPAROTTO, L.; BENTES, J. L. S.; PEREIRA, J. (ed.). **Doenças de espécies florestais arbóreas nativas e exóticas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 171-194.

CALDEIRA, S. F.; VIEIRA, S. A. F. Emergência de plântulas de teca, *Tectona grandis* L. f., com tratamentos pré-germinativos, em diferentes substratos. **Revista Agricultura Tropical**, v. 5, n. 1, p. 81-90, 2001.

CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L. f.) – Verbenaceae**. 1991. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no centro-sul do Brasil. In: GALVÃO, A. P. M. (ed.). **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 75-99.

CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p.10-12. 1997.

COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS. Comissão Estadual de Sementes e Mudas. **Normas técnicas para produção de mudas fiscalizadas**. Cuiabá: DFA/MT, 1998a. 61 p.

COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS. Comissão Estadual de Sementes e Mudas. **Normas técnicas para produção de sementes fiscalizadas de espécies florestais**. Cuiabá: DFA/MT, 1998b. 40 p.

CONTATO HOJE. Taboa de salvação. **Revista Contato Hoje**, v. 14, n. 121, p. 29, 1993.

CORRÊA, B. M. B. **Desempenho do banco de sementes e do povoamento de teca na regeneração natural por alto fuste**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. Disponível em: https://www1.ufmt.br/ufmt/un/publicacao/ppgcfa?busca=Barbosa+Correa&filtro=autor&categoria=. Acesso em: 5 set. 2020.

COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies alternativas para o Centro-Oeste: Teca. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 153-168.

COUTINHO, S. A. La teca: un ingeniero social. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 12, n. 1, p. 10, 2004.

DAMÁSIO, M.; SILVA, F. R.; SANTOS, A. F. A.; RONDON NETO, R. M. Desbaste seletivo em um povoamento de *Tectona grandis* implantado em sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta. **Biodiversidade**, v. 14, n. 3, p. 74-83, 2015.

DE PIERI, C; PASSADOR, M. M.; FURTADO, E. L.; CARVALHO JÚNIOR, A. A. Novas observações sobre a ocorrência da ferrugem da teca (*Tectona grandis*) no Brasil e revisão taxonômica do patógeno. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 4, p. 199-201, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000400006.

DECAMPS, A. A explotação da teca no Sião. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 11, n. 11, p. 134-145, 1959.

DECAMPS, A. Les exploitations de teck au Siam. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 42, p. 26-36, 1955.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Behaviour of the “YSG Biotech TG1-8” teak clones under various site conditions: first observations. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 311, p. 5-19, 2012.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Status of the “YSG Biotech” program of building teak genetic resources in Sabah. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 310, p. 36, 2009.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. **Cultura da teca**. Piracicaba, SP: Departamento de Silvicultura/Esalq, 1970. 5 p. [mimeografado].

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DO MATO GROSSO. **Diagnóstico de florestas plantadas no estado de Mato Grosso**. Cuiabá: IMEA, 2013. 106 p.

FAVALESSA, C. M. C. **Estruturação da produção de *Tectona grandis* Linn f. em Mato Grosso**. 2018. 227 f. Tese (Dourado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

FEARNSIDE, P. M.; RANKIN, J. M. Avaliação da Jari Florestal e Agropecuária Ltda como modelo para o desenvolvimento da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 9, n. 3, p.609-615, 1979.

FERRAZ, A. C.; DAL FABBRO, I. M.; SILVA, J. M.; AMARAL, R.; RODRIGUES, A. L. G.; PENTEADO, S. R. Projeto de desenvolvimento de um sistema processador para quebra de frutos de teca com liberação de sementes. **Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 52-58, 1998.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação do crescimento da teca (*Tectona grandis* L. f.) pela análise de tronco**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001a. 4 p. (Embrapa Acre. Instruções técnicas, 35). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/4498/1/it35.pdf. Acesso: 8 fev. 2021.

FIGUEIREDO, E. O. **Reflorestamento com teca (*Tectona grandis* L. f.) no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001b. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 65). Disponível em: Aceso em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117320/1/4495.pdf. 8 fev. 2021.

FIRMINO, A. C.; TOZZE JÚNIOR, H. J.; FURTADO, E. L. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt in *Tectona grandis* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 25, p. 24, 2012. DOI: https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.024.

GARCIA, C. A. B. Mato Grosso hoje: potencial e perspectivas. In: SEMINÁRIO DO SETOR MADEIREIRO DO ESTADO DE MATO GROSSO, 1., 1998, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: FIEMT, SINDILAM, 1998.

GASPAROTTO, L.; BENTES, J. L. S.; PEREIRA, J. **Doenças de espécies florestais arbóreas nativas e exóticas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 209 p.

GATTI, K. C. **Propagação vegetativa de pau mulato (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) K. Schu.), jequitibá (*Cariniana estrellensis* (Raddi) e teca (*Tectona grandis* Linn.) por miniestaquia**. 2002. 72 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GAVA, F. H. **Danos na copa**: crescimento, produção e desbaste em povoamentos clonais e seminais de teca em duas regiões de Mato Grosso. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (Prodepef. Série técnica, 11).

GOMES, J. E. **Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f. (teca) em área de Cerrado sob diferentes espaçamentos**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HIGUCHI, N. **Informações básicas para o manejo florestal da *Tectona grandis* (teca) introduzida no Alto Jaurú**. Cuiabá: UFMT, Departamento de Engenharia Florestal, 1979. 92 p. [mimeografado].

HOWARD, A. L. **A manual of timbers of the world**: Their characteristics and uses. London: MacMillan, 1920. 446 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **2014**. Brasília, DF, 2014. 97 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017 = Report 2017**. Brasília, DF, 2017. 80 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2016. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019 = Report 2019**. Brasília, DF, 2019. 79 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **2020**: relatório anual = annual report. Brasília, DF, 2020. 122 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2019.Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

IMAÑA-ENCINAS, J. Considerações silvo-ecológicas de *Tectona grandis* L. f. **Folha Florestal**, n. 92, p. 14-15. 1999.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 15, n. 4, p. 1-21, 2010a.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 15, n. 23, p. 1-19, 2010b.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 16, n. 22, p. 1-22, 2011.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 17, n. 16, p. 1-22, 2013.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 18, n. 23, p. 1-24, 2014.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 19, n. 22, p. 1-25, 2015.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 20, n. 20, p. 1-26, 2016.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 21, n. 22, p. 1-28, 2017.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 22, n. 22, p. 1-26, 2018.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 23, n. 19, p. 1-26, 2019.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Tropical timber market report**, v. 24, n. 21, p. 1-28, 2020.

JACOBS, M. R. **Desenvolvimento e pesquisa florestal no Brasil**: necessidade de pesquisa em silvicultura e manejo florestal. Brasília, DF: IBDF, 1973. 150 p. (Prodepef. Série técnica, 1).

KEIDING, H.; WELLENDORF, H.; LAURIDSEN, E. B. **Evaluation of an International series of teak provenance trials**. Humlebaek, Denmark: Danida, 1986. 84 p.

KEOGH, R. M. Does teak have a future in tropical America? **Unasylva**, v. 31, n. 126, p. 13-19, 1979.

KEOGH, R. M. La teca y su importancia económica a nivel mundial. In: CAMINO, R.; MORALES, J. P. **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2013. p. 8-29. (CATIE. Serie técnica. Informe técnico, 397).

KJAER, E. D.; LAURIDSEN, E. B.; WELLENDORF, H. **Second evaluation of an international series of teak provenance trials (1995)**. Humlebaek, Denmark: Danida, 1995. 114 p.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO world series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

LAMB, A. F. A. **Trinidad's teak forests**. Porto Espanha: Journal of Agricultural Society of Trinidad & Tobago, 1955. 10 p. (Journal of Agricultural Society of Trinidad & Tobago. Society paper, 860).

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

MACEDO, R. L. G. Análise do potencial de estabelecimento da *Tectona grandis* L. f. (teca) introduzida na região noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO IUFRO, 1., 1999, Valdivia, Chile. **Anais** [...]. Valdivia, Chile: IUFRO, 1999. p. 12-19.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; GOMES, J. E.; OLIVEIRA, T. K. Dinâmica de estabelecimento de *Tectona grandis* L. f. (teca) introduzida em cafezal na região de Lavras – Minas Gerais. **Brasil Florestal**, v. 21, n. 73, p. 31-38, 2002.

MATO GROSSO. Assembleia Legislativa do Estado de Mato Grosso. Lei no. 7.709, de 31 de julho de 2002. Institui o Programa de Desenvolvimento Florestal do Estado de Mato Grosso - PRODEFLORA, cria o Fundo de Apoio à Produção Florestal - FUNDEFLORA e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Mato Grosso**, Cuiabá, n. 23.427, p. 3-4, 01 ago. 2002.

MATO GROSSO. **Programa de Desenvolvimento Florestal do estado de Mato Grosso**: PRODEFLORA. Cuiabá: Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários, Associação Mato-Grossense de Engenheiros Florestais, 2000. 21 p.

MATO GROSSO. Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários. **Diretrizes técnicas para implantação de reflorestamento no estado de Mato Grosso – teca – *Tectona grandis* L. f**. Cuiabá: Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários, 2001. 6 p.

MATO GROSSO. **Teca é vendida em Cáceres a 900 dólares o metro cúbico**. Cuiabá: Secretaria de Fazenda, 2006. Disponível em: http://www5.sefaz.mt.gov.br/-/teca-e-vendida-em-caceres-a-900-dolares-o-metro-cubico. Acesso: 23 jul. 2020.

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

MATTHEWS, J. D. **Silvicultural Systems**. Oxford: Clarendon Press, 1991. 284 p.

MEDEIROS, A. M. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* L.**

f. no estado de Mato Grosso. 2016. 182 f. Tese (Dourado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MELLO, H. A. Alguns aspectos da introdução da teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 15, n. 15, p. 113-119, 1963.

MIRANDA, M. C.; CALDEIRA, S. F.; FINGER, Z. Características morfológicas para diferenciação de plantas clonais e seminais de teca (*Tectona grandis* L. f.). In: PASA, M. C. (ed.). **Múltiplos olhares sobre a biodiversidade**. Jundiaí: Paco Editorial, 2013. p.191-201.

MIRANDA, M. C. **Caracterização morfológica e avaliação do desenvolvimento inicial de clones de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MOURA, R. G.; BERTI FILHO, E.; PERES FILHO, O.; DORVAL, A. Coleobrocas (Insecta: Coleoptera) associadas à madeira de *Tectona grandis* Linn. f. (Lamiaceae). **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 1, p. 35-46, 2008. Disponível em: http://revistadeagricultura.org.br/index.php/revistadeagricultura/article/viewFile/256/70. Acesso em: 5 nov. 2020.

NAING, Y. M. A diameter distribution yield prediction of teak stands in Taungoo District, Bago region of Myanmar. **Open Science Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2020. DOI: https://doi.org/10.23954/osj.v5i1.2271.

NEUKIRCHNER, L. **Teakplantage in Brasilien**. Überseeische Plantagenhölzer auf unserem Markt. 1992. 1 p.

OLIVEIRA, E. B. **SisTeca**: simulador de crescimento e produção para o manejo de plantações de *Tectona grandis*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 199). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42708/1/com_tec199.pdf. Acesso em: 8 fev. 2021.

OLIVEIRA, J. R. V. de. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca**. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, R. G. M. G.; BERTI FILHO, E.; PERES FILHO, O.; SALES, F. P.; CUNHA, J. A. C. Diversity of hymenopteran parasitoids (Hymanoptera: Chalcididae) associated with teak (*Tectona grandis*) forests. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 2, p. 59-64, 2014. DOI: https://doi.org/10.34062/afs.v1i2.1736.

PACHAS, A. N. A.; SAKANPHET, S.; MIDGLEY, S.; DIETERS, M. Teak (*Tectona grandis*) silviculture and research: applications for smallholders in Lao PDF. **Australian Forestry**, v. 82, n. 1, p. 94-105, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1610215.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; CAPELINI, W. A.; SANTOS, L. L.; SANTOS JUNIOR, H. J. G. Entomofauna associada a povoamentos de teca localizados no sul do Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 78, p. 125-132, 2014. DOI: https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.675.

PAES, J. B.; SANTOS, L. L.; LOIOLA, P. L.; SANTOS JÚNIOR, H. J. G.; CAPELINI, W. A. Ataque de coleópteros na madeira de teca (*Tectona grandis* L.F.) em plantios localizados no sul do Espírito Santo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2012.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasylva**, v. 51, n. 201, p. 3-13. 2000.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Correlações linear e multivariada dos atributos químicos do solo com o crescimento de *Tectona grandis* L. f. In: PASA, M.C. (ed.) **Múltiplos olhares sobre a biodiversidade II**. Jundiai: Paco Editorial, 2013. p. 75-91.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamentos de *Tectona grandis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/010477 60201420031437.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S.; SANTOS, J. O. P. Correlação espacial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 247-256, 2012. DOI: https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.247.

PERES FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. **A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. (Verbenaceae), no estado de Mato Grosso**. Piracicaba, SP: IPEF, 2006. 58 p.

PERES FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. Ocorrência de *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae) em teca no Brasil. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 59-60, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052002000100009.

PERES FILHO, O. Teca. In: SILVA, N. M.; ADAIME, R.; ZUCCHI, R. A. (ed.). **Pragas agrícolas e florestais na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 502-519.

PINTO, A. F.; RODIGHERI, H. R. **Desenvolvimento da teca (*Tectona grandis*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) consorciados, em diferentes níveis de adubação fosfatada, no município de Carlópolis, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 61). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/30403/1/com_tec61.pdf. Acesso em: 8 fev. 2021.

PINTO JÚNIOR; J. E.; JACOB, W. S. Boletim Informativo da Região Leste. **Boletim Informativo IPEF**, v. 7, n. 23, p. 1-60, 1979.

PITT, J. **Relatório ao Governo do Brasil sobre a aplicação de métodos silviculturais a algumas florestas da Amazônia**. Belém, PA: SUDAM, 1969. 245 p.

PONTES, M. S. **Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L. f.) e dos Sistemas Ferti-UFV e Nutri-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PROTEAK. Proteak Renewable Forestry. **Resumen público del plan de manejo maestro**: proteak uno S.A.B. de C.V. México: Proteak, 2017. 57 p. Disponível em: http://proteak.com/files/watch/ManejoMaestroMexico_Teca_2017.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.

QUEIROZ, M. M. **Diversidade e estrutura genética de clones e em populações seminais de teca no estado de Mato Grosso**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

REATEGUI-BETANCOURT, J. L.; ARRIEL, D. A. A.; CALDEIRA, S. F.; HIGA, A. R.; FLÔRES-JÚNIOR, P. C.; ARAÚJO, S. P.; MARQUES, R. M.; CORRÊA, B. M. B.; MARTINEZ, D. T. Morphological descriptors for the characterization of teak clones (*Tectona grandis* L. f.) in plantations. **Forest System,** v. 29, n. 1, eRC02, 13 p., 2020. DOI: https://doi.org/10.5424/fs/2020292-15634.

REATEGUI-BETANCOURT, J. L. **Descritores morfológicos para caracterização de clones de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

REIS, M. S. Plantaciones forestales industriales en los trópicos de América Latina. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p. 8-9, 1997.

RENTABILIDADE no Meio Rural em Mato Grosso: relatório final 2015. Cuiabá: SENAR, IMEA, Embrapa, 2015. 174 p. Disponível em: http://www.imea.com.br/imea-site/view/uploads/estudos-customizados/ProjetoURTE2015.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

ROCHA, K. R. **Afilamento e otimização de sortimento de *Tectona grandis* Linn f. para a maximização do volume e da renda**. 2018. 209 f. Tese (Dourado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SAMPAIO, A. J. A teca da Índia e a do Brasil. **Revista Florestal**, v. 1, n. 9, p. 7-10, 1930.

SANTOS, J. R. L.; DORVAL, A.; PERES FILHO, O.; SOUZA, M. D.; RODRIGUES, M. L.; FAVARE, L. G.; TOMAS, S. E. O. Mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) associada ao plantio de *Tectona grandis* L. f. **Biodiversidade**, v. 19, n. 1, p. 106-115, 2020.

SÃO PAULO. Instituto Florestal. Atividades em tecnologia de sementes desenvolvidas pelo Instituto Florestal do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS, 2., 1989, Atibaia. **Anais** [...]. Atibaia: Instituto Florestal, 1991. p. 141-155.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Madeira: a história cruza os mares. **Silvicultura**, v. 12, n. 43, p. 16-19, 1992.

SCHUCHOVSKI, M. S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no estado do Paraná**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SEJR, K. Walter Jessen & Co. investerer i stor teak-plantage. **Erhvervs-Bladet**, Jan 21, p. 4, 1991.

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**: 2007. Cuiabá: Central do Texto, 2007. 63 p.

SILVA, C. V. M.; YAMAKI, K. Y.; SILVA, A. G. Identificação e caracterização da entomofauna em plantios de teca (*Tectona grandis*). **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 207-218, 2013. DOI: https://doi.org/10.3738/1982.2278.879.

SILVA, D. D. F. **Desempenho de clones de teca em sistema agrossilvipastoril**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SILVA, D. J.; FERRAZ, J. B. S.; SANTOS FILHO, M.; SILVA, J. S. H. Avaliação do estado nutricional, crescimento de teca (*Tectona grandis* L. f.) e suas relações com os fatores de sítio do solo em plantios no sudoeste de Mato Grosso, a partir da análise de componentes principais. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá. **Resumos** [...]. Corumbá: Embrapa Pantanal, UFMS. 2001. 463 p. CD ROM.

SIQUEIRA, T. A. S. **Serapilheira e a regeneração por alto fuste após a colheita de povoamentos de teca**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SITUACIÓN actual del germoplasma utilizado en los programas de plantaciones forestales comerciales en el Sureste de México. México: CONAFOR, AMEPLANFOR, 2016. 109 p. Disponível em: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/246716/Situacion_actual_de_germoplasma_utilizado_en_los_proyectos_de_PFC_en_el_sureste.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.

TECA, uma solução para o reflorestamento. **Jornal do Engenheiro Florestal**, v. 1, n. 9, p. 4, 1993.

TOMASELLI, I.; SIQUEIRA, J. D. P. O apagão e o Brasil florestal 2020. **Informativo STCP**, n. 8, p. 4-9, 2004-2005.

TORTORELLI, L. A. Efeitos catastróficos do fogo nos bosques do Paraná: exemplo a ser difundido na América Latina. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 16, n. 16, p. 71-74, 1964.

TROUP, R. S. **Silvicultural systems**. Oxford: Clarendon Press, 1952. 216 p.

UGALDE, L. A. A. **TEAK**: new trends in silviculture, commercialization, and wood utilization. Cartago: International Forestry and Agroforestry, 2013. 568 p.

VEIT, L. F. Alternativas de manejo e reflorestamento: teca. In: SEMINÁRIO DO SETOR MADEIREIRO DO ESTADO DE MATO GROSSO, 1., 1998, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: FIEMT, SINDILAM, 1998a. p. 94-100.

VEIT, L. F. Plante seu fundo de aposentadoria. **Silvicultura**, v. 17, n. 68, p. 20-22, 1996a.

VEIT, L. F. Dinheiro não cresce em árvores. **Revista Silvicultura**, v. 21, n. 83, p. 38-39, 2000.

VEIT, L. F. Teca: fundo de aposentadoria do produtor rural. **Florestar Estatístico**, v. 4, n. 10, p. 11-15, 1996b.

VEIT, L. F. Teca: uma madera de excepcion. **Revista Vetas,** n.197, p. 38-42, 1998.

VEIT, L. F. Teca: uma visão geral. **Revista da Madeira**, v. 5, n. 30, p. 24-26, 1996c.

VEIT, L. F. Teca, a substituta natural das madeiras nobres. **Revista da Madeira**, v. 2, n. 6, p. 18-20, 1993.

VEIT, L. F. Teca, apreciada desde a antiguidade. **Silvicultura**, v. 12, n. 46, p. 30-32, 1992.

WOESSNER, R. A.; TIBURCIO, V. A. S. Tectona grandis: teste de procedência na Jari: uma avaliação de 5 anos. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO, 1980, Águas de São Pedro. **Silvicultura**, n. 8, n. 30, p.181-182, 1983.



4

Contexto mundial do melhoramento genético da teca

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Alisson Moura Santos
Teotônio Francisco de Assis

Introdução

O estabelecimento de programas de melhoramento genético da teca (*Tectona grandis* L. f.) se justifica em decorrência de vários aspectos. Trata-se de espécie florestal que produz madeira nobre de elevado valor agregado, com uso consolidado no mercado internacional e com plantios em escala comercial estabelecidos em vários países. Além do mais, a oferta de madeira de teca tem sido, tradicionalmente, menor do que a enorme demanda requerida pelo mercado mundial (Pandey; Brown, 2000; Kumar, 2019; Rimbawanto, 2019).

Outro aspecto relevante no melhoramento genético está relacionado à pressão, cada vez maior, pela conservação genética das populações nativas de teca, de forma que os exemplares arbóreos remanescentes sejam salvaguardados da exploração predatória (Kjaer; Foster, 1996; Kjaer et al., 2000; Boonsermsuk, 2019; Moe, 2019; Tangmitcharoen, 2019; Trisurat, 2019). A extração desordenada das árvores nativas para a obtenção de madeira tem sido responsável pela degradação ambiental de muitas áreas (Keiding, 1966; Graudal et al., 1999; Kollert; Kleine, 2017; Moe, 2019; Tangmitcharoen, 2019; Trisurat, 2019). Adicionalmente, a conversão de áreas de ocorrência natural para outras modalidades de uso da terra tem também contribuído para a redução das populações de teca e, consequentemente, de seu estoque de madeira nativa (Keiding, 1966; Graudal et al., 1999; Moe, 2019; Tangmitcharoen, 2019; Trisurat, 2019). Essas atividades podem levar à erosão de alelos importantes para a conservação genética e, também, ao melhoramento genético dessa espécie (Keiding, 1966; Graudal et al., 1999; Moe, 2019; Tangmitcharoen, 2019; Trisurat, 2019).

Em muitas áreas de ocorrência natural da teca, são exploradas as árvores de melhor forma e vigor, sem os devidos critérios preconizados pelo manejo florestal (Boonsermsuk, 2019; Trisurat, 2019). Assim, ao retirar de forma intensa as melhores matrizes, a qualidade dos futuros regenerantes dessa espécie fica comprometida, já que somente as árvores nativas de pior desempenho tendem a permanecer nas parcelas remanescentes (Kollert; Kleine, 2017). Neste cenário, três medidas se tornam pertinentes, sendo: **a)** conservação de exemplares nativos de teca em áreas de proteção ambiental, **b)** implantação de adequados programas de manejo das florestas naturais com teca e **c)** concessão de estímulos crescentes ao estabelecimento de plantios comerciais de teca (em monocultivos ou em sistemas agroflorestais) (Keiding, 1966; Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b; Graudal et al., 1999; Goh;

Monteuuis, 2005; Trisurat, 2019). Dentre essas três medidas elencadas, o estabelecimento de plantios comerciais de teca é tido como o de maior facilidade de execução, especialmente nos tempos atuais, em decorrência do grande interesse de investidores privados, quanto ao cultivo de teca de curta rotação em várias partes do mundo.

No passado, o estabelecimento de plantios de teca foi iniciado sob estímulo de ações governamentais, tal como ocorrido no projeto conduzido pelo Royal Forest Department (RFD), executado desde 1943 e do Forest Industries Organization (FIO) desde 1968, ambos na Tailândia (Kaosa-Ard, 1996, Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b). Entretanto, com o aumento no interesse pela madeira de teca no decorrer dos anos, observa-se uma transição nas iniciativas de estabelecimento de plantios comerciais de teca de instituições públicas para investimentos privados (Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b; Kollert; Kleine, 2017; Rimbawanto, 2019; Tangmitcharoen, 2019).

A carência de plantios, especialmente de melhor qualidade genética, foi unanimamente identificada como causa do déficit de madeira de teca (Monteuuis; Goh, 1999, 2018; Husen, 2012; Kollert; Kleine, 2017). Em decorrência desses aspectos, torna-se evidente a necessidade de obtenção de árvores melhoradas geneticamente. A melhoria constante da adaptação da espécie aos locais de plantio, da produtividade e das propriedades tecnológicas da madeira e da tolerância/resistência a fatores bióticos e abióticos se faz notória para atender às crescentes demandas por produtos madeireiros, em quantidade, com qualidade e com constância necessárias à sociedade (Kjaer; Foster, 1996; Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b; Kjaer et al., 2000; Peres Filho et al., 2006; Roychoudhury, 2012; Caldeira, 2013; Kollert; Kleine, 2017).

Algumas peculiaridades dessa espécie florestal devem ser levadas em conta, por impactar diretamente no melhoramento genético e, obviamente, também no estabelecimento de plantios comerciais, tais como: **a)** produção de sementes por árvore limitada quantitativamente[8], sendo sujeita às variações entre árvores, anos e locais, causando problemas na produção das mudas e na implantação de testes de procedências e progênies e, também, em plantios comerciais; **b)** longo ciclo vegetativo até o início do florescimento e disponibilização de sementes; **c)** correlação negativa entre a precocidade da frutificação/produção de sementes e o comprimento do fuste, com presença de bifurcação, o que afeta o valor comercial da árvore e, consequentemente, a qualidade do fuste na sua descendência; d) baixa e imprevisível capacidade de germinação de sementes, a qual diminui rapidamente com o tempo, após a coleta, acarretando também problemas na produção das mudas seminais para

[8] A quantidade de sementes necessária para obtenção de um plantio com 800-1.500 árvores ha^{-1} é altamente variável, havendo relatos de 2,5-43 kg (Kjaer; Foster, 1996; Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b), dentre outros. A produção de sementes nos pomares clonais é, em geral, também baixa. Em um bom sítio, a produção pode alcançar entre 70-100 kg ha^{-1}, mas uma média de 50 kg é mais comum (Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b). O consumo de sementes varia de acordo com o país e região, em função da percentagem de germinação e da técnica de produção de mudas utilizada (Kjaer; Foster, 1996).

finalidade de melhoramento e para plantios comerciais, embora possam existir diferenças entre as fontes de sementes; **e)** dificuldade na realização de polinização controlada e **f)** longo ciclo de rotação da espécie (Kjaer; Foster, 1996; Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b; Kjaer et al., 2000; Callister, 2013; Murillo et al., 2013; Monteuuis; Goh, 2018; Kumar, 2019). Alguns desses aspectos acarretam ainda maiores consequências também para a conservação genética, já que a reprodução natural e a regeneração da teca têm sido amplamente malsucedidas em áreas nativas (Krishnan et al., 1999).

Neste contexto, é importante que tais problemas sejam considerados e, na medida do possível, minimizados ou contornados. Por outro lado, os retornos de programas de melhoramento são tidos como altos, tendo em vista o elevado valor da madeira no mercado internacional (Costa; Resende, 2001; Costa et al., 2007; Assis; Resende, 2011). Os plantios de teca, atualmente de maior interesse aos investidores, consistem naqueles de curta rotação e cujas madeiras obtidas alcançam bons preços, ainda que não sejam os mesmos valores obtidos na comercialização de madeira nativa, com maiores diâmetros e proporção de cerne (Kollert; Kleine, 2017).

Em decorrência da dificuldade na produção de mudas seminais de teca, a talhadia, caracterizada pela condução de brotações após o corte da floresta, é uma prática bastante utilizada em alguns países, mas é uma medida que não salvaguarda a produtividade de madeira ou, mesmo, contribui para o seu incremento, assim como também não leva a ganhos, em termos de melhoria da qualidade da madeira ou tolerância/resistência a fatores bióticos ou abióticos, algo que pode ser alcançado com o uso de novas cultivares (Kjaer; Foster, 1996). Por outro lado, outra medida utilizada é a produção em massa de mudas clonais, procedente de árvores elites, o que tem contribuído para a melhoria da produtividade, da qualidade da madeira, da sanidade, da homogeneidade dos plantios e na padronização dos tratos culturais durante a rotação, dentre outros aspectos (Kjaer; Foster, 1996; Husen, 2012; Murillo et al., 2013; Monteuuis; Goh, 2018). Os plantios clonais parecem ser o melhor caminho para maximizar o retorno econômico, no menor tempo possível, sendo relevante o uso de diferentes clones, com plantio monoclonal por talhão, em esquema espacial de mosaico, como precaução contra possíveis danos causados por doenças bióticas e abióticas e, também, por insetos-pragas (Xavier; Da Silva, 2010; Kollert; Kleine, 2017; Kumar, 2019). Obviamente, a garantia de ganhos crescentes (para os caracteres acima mencionados) nos plantios clonais de teca deve estar atrelada à geração contínua de novos clones/cultivares em programas de melhoramento genético (Resende; Barbosa, 2005).

Além do aprimoramento de caracteres de importância econômica, o melhoramento genético deve também levar em consideração a necessidade de redução da idade média de rotação, pois se trata de uma espécie de crescimento lento, podendo em algumas condições ambientais asiáticas alcançar rotações que variam entre 60-100 anos, ou seja, que demanda um investimento de longo prazo (Kjaer; Foster, 1996; Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b). Em países como Brasil e Costa Rica, a rotação varia entre 20-30 anos, em decorrência das condições ambientais mais favoráveis e do uso de ciclo de rotação mais curto, com foco no atendimento de mercados de produtos com madeira de pequena dimensão (Kjaer; Foster, 1996; Camino; Morales, 2013).

O tempo é um fator determinante na tomada de decisões em atividades ligadas ao melhoramento genético florestal, uma vez que as espécies perenes apresentam longevidade e maior complexidade no desenvolvimento que uma espécie anual. Cada processo seletivo demanda tempo e recurso e, por essa razão, deve ser o mais eficiente possível. Maiores rigores e acurácias nos processos seletivos devem ser continuamente buscados, tendo em vista que algum erro ocorrido em um ciclo pode vir a colocar em risco todo o trabalho (Resende, 2002). A avaliação da eficiência da seleção precoce deve ser constantemente almejada dentro dos programas de melhoramento de teca (Resende, 1994; Kjaer; Foster, 1996; Pedersen et al., 2007; Callister, 2013; Monteuuis et al., 2011; Segura, 2017; Adu-Bredu et al., 2019). Na Índia, há relato de seleção precoce de genótipos de teca praticada aos dez anos de idade para caracteres de crescimento (Kumar, 2019).

Todos esses aspectos acima abordados evidenciam a importância do melhoramento genético da espécie. Entretanto, obviamente, os programas de melhoramento genético devem ser devidamente bem planejados e estruturados, com continuidade em termos de condução de atividades, de oferta de recursos financeiros e humanos, ainda mais por se tratar de uma espécie de ciclo longo, de forma a gerar continuamente novas cultivares (Kaosa-Ard et al., 1998a, 1998b).

Neste contexto, este capítulo fornece uma ampla revisão de literatura sobre melhoramento genético da teca, em nível mundial. Aproximadamente 340 publicações técnico-científicas, obtidas em diversas plataformas de dados, foram analisadas e classificadas por assunto. Com base nessas publicações, são abordados os seguintes aspectos relacionados à teca: **a)** melhoramento genético em nível mundial, **b)** estratégia de melhoramento genético utilizada, **c)** variação em caracteres de importância econômica, **e)** interação genótipos x ambientes, **f)** controle genético de caracteres, **g)** seleção para vários caracteres e

h) uso de ferramentas biotecnológicas em apoio à conservação e, ou ao melhoramento genético. Espera-se com essa síntese de informações contribuir para uma maior compreensão do status do melhoramento genético da teca, em nível mundial, e que esse arcabouço possa servir de suporte ao balizamento e ao aprimoramento das atividades em prol dessa espécie.

Melhoramento genético da teca em nível mundial

Há relatos de ações voltadas ao melhoramento genético da teca em, pelo menos, 33 países no decorrer do tempo (Tabela 1). Essas ações não necessariamente se referem à existência de programas de melhoramento genético estruturados, mas aos esforços que têm sido conduzidos em prol de geração de conhecimentos sobre a obtenção de algum grau de melhoramento e de conservação da espécie. Alguns marcos históricos e/ou relevantes em diferentes países são sumarizados na Tabela 2. Observa-se que esses esforços remontam a intervalo de tempo de quase um século, sendo intensificados a partir da década de 1960.

Conforme descrito no primeiro capítulo do presente livro, que trata da caracterização botânica, distribuição e condições ambientais nas áreas de ocorrência natural da teca, o seu padrão de distribuição natural é descontínuo e abrange Índia, Mianmar, Tailândia e Laos (Kaosa-Ard, 1989; Lamprecht, 1990; Graudal et al., 1999; Pandey; Brown, 2000; Praciak et al., 2013). Observa-se que os países com maior número de publicações ligadas ao melhoramento da teca consistem naqueles que fazem parte de sua área de distribuição natural (Índia, Mianmar e Tailândia) ou, então, localizados em suas proximidades (Indonésia e Malásia), sendo que clones de teca da Malásia vêm sendo popularizados em várias partes do mundo, inclusive no Brasil.

No Ocidente, um excelente exemplo de programa de melhoramento genético bem estruturado tem sido conduzido na Costa Rica. Entretanto, há também que se ressaltar que os diversos estudos conduzidos em diversas partes do mundo têm contribuído de maneira substancial para o entendimento do comportamento dessa espécie sob melhoramento genético.

Tabela 1. Iniciativas ligadas ao melhoramento genético da teca em diferentes países do mundo e respectivas referências bibliográficas.

Unidade	País	Referências
1	Austrália	Callister e Collins (2008), Wehr et al. (2010), Goh e Monteuuis (2012), Callister (2013), Monteuuis e Goh (2018).
2	Bangladesh	Huk e Banik (1990), Banik (1993), Mahmud e Hossain (2013).
3	Benin	Kokutse et al. (2016), Hounlonon et al. (2017).
4	Brasil	Golfari et al. (1978), Pinto Júnior e Jacob (1979), Pinto Júnior et al. (1981), Diniz (1999), Ferreira (2001), Costa et al. (2007, 2012, 2015), Costa e Resende (2001), Kjaer et al. (2008), Schühli e Paludzyszyn Filho (2010), Assis e Resende (2011), Goh e Monteuuis (2012), Alcântara e Veasey (2013), Miranda (2013), Murillo et al. (2013), Avelar (2015), Barreta (2015), Borges et al. (2015), Lima (2015), Alcântara et al. (2016), Chimello (2016), Corrêa (2016), Jesus (2016, 2021), Oliveira (2016, 2020), Zucarelli (2016), Chimello et al. (2017), Giustina et al. (2017), Silva et al. (2017), Bastos et al. (2018), Marques et al. (2018), Mata (2018), Matos et al. (2018), Monteuuis e Goh (2018), Reategui et al. (2018), Silva e Arriel (2018, 2019), Alexandre et al. (2019), Arenhart et al. (2019), Barceli et al. (2019), Betancourt (2019), Galeano et al. (2019), Lara (2019), Nunes et al. (2019a, 2019b), Pereira (2019), Pereira e Arriel (2019), Perozo (2019), Poncioni (2019), Alexandre (2020), Brasil (2020), Pereira et al. (2020), Reategui-Betancourt et al. (2020), Silva (2020), Queiroz (2020), Proteca (2021), Viana (2020).
5	Burkina Faso	Piot (1977).
6	China	Bingchao et al. (1986), Bingchao e Shuzhen (1993), Murillo et al. (2013), Huang et al. (2016, 2019a, 2019b), Graudal e Moestrup (2017).
7	Colômbia	Espitia et al. (2011), Correa et al. (2013), Monteuuis e Goh (2018), Llanos-Mayor et al. (2019).
8	Costa do Marfim	Delaunay (1977), Madoffe e Maghembe (1988), Fofana et al. (2008), Kjaer et al. (2008), Monteuuis e Goh (2018).
9	Costa Rica	Gamboa e Montoya (1992), Araya et al. (2005), Arguedas-Gamboa et al. (2005), Aguilar (2007), Resende (2007b), Lozano (2010), Assis e Resende (2011), Moya e Marín (2011), Solórzano et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Hernández (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013, 2019), Vásquez (2016), Segura (2017), Loría (2018), Monteuuis e Goh (2018), Hine et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 1. Continuação.

Unidade	País	Referências
10	Cuba	Echeverría et al. (2005), Fleitas-Camacho et al. (2010), Murillo et al. (2013).
11	Equador	Goh e Monteuuis (2012), Cañadas et al. (2013), Murillo et al. (2013), Monteuuis e Goh (2018).
12	Gabão	Monteuuis e Goh (2018).
13	Gana	Kjaer et al. (2008), Nocetti et al. (2011), Monteuuis e Goh (2018), Adu-Bredu et al. (2019).
14	Guatemala	Murillo et al. (2013), Monteuuis e Goh (2018).
15	Ilhas Virgens	Kjaer et al. (1999, 2008).
16	Índia	Mathauda (1954), Kedharnath e Matthews (1962), Kumaravelu (1979), Subramanian e Seethalakshmi (1984), Venkatesh et al. (1986), Ahmad (1987), Chandha e Patnik (1990), Mishra (1992), Meshram et al. (1994), Bagchi (1995), Nagarajan et al. (1996), Roychoudhury e Joshi (1996), Swain et al. (1996), Kumar et al. (1997), Nagarajan e Mohanlal (1997), Palupi e Owens (1997, 1998), Indira e Bhat (1998), Jain et al. (1998), Sharma e Rawat (1998), Krishnan et al. (1999), Swain (1999), Chacko et al. (2000), Sharma et al. (2000), Sivakumar et al. (2002), Chawhaan et al. (2003), Katwal (2003), Mathew e Vasudeva (2003), Nicodemus et al. (2003, 2009), Hedge et al. (2004), Vasudeva et al. (2004), Bendale et al. (2005), Shrestha et al. (2005), Thulasidas et al. (2006), Varghese et al. (2006, 2008), Narayanan et al. (2007, 2009), Kjaer et al. (2008), Gunaga e Vasudeva (2009), Hadiyan (2009), Palanisamy et al. (2009, 2010), Lyngdoh et al. (2010, 2013), Gunaga et al. (2011, 2013), Shukla et al. (2011), Khanduri (2012), Purushottam et al. (2014), Sreekanth et al. (2014), Surendran (2014), Vinutha e Javaregowda (2014), Kambale et al. (2015), Lyngdoh e Vasudeva (2015), Behera e Bhol (2016), Behera et al. (2016), Nayak et al. (2016, 2017), Patil et al. (2016), Sett et al. (2016), Jibkate et al. (2017), Pattanaik e Shiva (2017), Pradhan et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Modi et al. (2018), Kumar (2019), Roychoudhury et al. (2020a, 2020b).
17	Indonésia	Harahap e Soerianegara (1977), Suhaendi (1990, 1998), Indonésia Forest State Enterprise (1993), Palupi e Owens (1997, 1998), Sharma e Rawat (1998), Swain (1999), Danarto e Hardiyanto (2000), Sharma et al. (2000), Vasudeva et al. (2004), Wardani (2008), Hadiyan (2009), Palupi et al. (2010), Puspitasari et al. (2010), Sofyan et al. (2011), Sumardi (2011), Goh e Monteuuis (2012), Hidayati et al. (2013a, 2013b, 2014), Muslimin et al. (2013), Nurrudin (2013), Sadono (2014), Sadono et al. (2014, 2019), Budiadi et al. (2017), Adinugraha e Efendi (2018), Monteuuis e Goh (2018), Prehaten et al. (2018), Priyowibowo (2018), Adinugraha et al. (2019), Damayanti et al. (2019), Rimbawanto (2019), Prasetyawati e A'ida (2019), Baskorowati et al. (2020), Mulyadiana et al. (2020).

Continua . . .

Tabela 1. Continuação.

Unidade	País	Referências
18	Malásia	Wyatt-Smith (1961), Monteuuis e Goh (1999, 2018), Goh e Monteuuis (2005, 2009, 2012), Goh et al. (2007, 2013), Norlia et al. (2008), Chaix et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Norwati et al. (2011).
19	México	Kjaer et al. (2008), Goh e Monteuuis (2012), Monteuuis e Goh (2018).
20	Moçambique	Bila et al. (1999).
21	Mianmar	Htun e Kaufmann (1980), Gyi et al. (1984), Gyi (1993), Min e Lwin (2004), Lwin et al. (2010), Shwe et al. (2015), Minn et al. (2016), Moe (2019), Win (2019), Dunker et al. (2020).
22	Nicarágua	Murillo et al. (2013), Maroto (2017), Monteuuis e Goh (2018).
23	Nigéria	Egenti (1978a, 1978b, 1981), Kjaer et al. (2008).
24	Nova Zelândia	Prehaten et al. (2018).
25	Panamá	Vásquez (2016), Monteuuis e Goh (2018).
26	Papua Nova Guiné	Cameron (1966, 1968), Kjaer et al. (2008).
27	Peru	Damayant (2018), Medina (2018).
28	Porto Rico	Kjaer et al. (2008).
29	Sri Lanka	Maddugoda (1993), Jayawardana e Amarasekera (2009).
30	Tailândia	Kemnark e Boonkird (1963), Keiding (1966), Hedegart (1971a, 1971b), Anon (1972), Suksileung et al. (1975), Kanchanaburangura (1976), Kaosa-Ard (1983a, 1983b, 1999), Wellendorf e Kaosa-Ard (1988), Kaosa-Ard et al. (1998a, 1998b), Kjaer e Suangtho (1995, 1997), Kjaer et al. (1996, 2000, 2008), Tangmitcharoen (1997, 2019), Tangmitcharoen e Owens (1997a, 1997b), Graudal et al. (1999), Tangmitcharoen et al. (2006a, 2006b, 2009), Meunpong et al. (2017), Wehr et al. (2017), Piananurak (2019), Wattanasuksakul (2019).
31	Tanzânia	Persson (1971a, 1971b), Madoffe e Maghembe (1988), Madoffe e Chamshama (1989), Kjaer e Siegismund (1995), Rance e Monteuuis (2004), Pedersen et al. (2007), Goh e Monteuuis (2012), Monteuuis e Goh (2018).
32	Togo	Kokutse et al. (2009, 2016), Monteuuis e Goh (2018).
33	Vietnã	Dong e Ha (2019).

Tabela 2. Marcos históricos em prol do melhoramento da teca, em diferentes países do mundo.

Ano	Marcos históricos em prol do melhoramento genético da teca	Referências
1930	Estabelecimento de rede experimental, composta por 11 procedências de teca, em 13 localidades da Índia. Posteriormente, uma nova série foi estabelecida no período de 1980-1981. Resultados iniciais indicaram que as procedências locais têm melhor desempenho, mas as introduções da Índia úmida tinham também grande potencial. A procedência do Sudoeste da Índia (Nilambur) foi mais estável e vigorosa. Entretanto, essa procedência, quando submetida às condições mais extremas de sítios, apresentou algumas poucas árvores superiores em crescimento.	Mathauda (1954), Graudal e Moestrup (2017).
Década de 1930	Estabelecimento de vários testes de procedências de teca na Indonésia e, posteriormente, incremento no número de experimentos em 1959. Em geral, foi possível identificar raças locais indonésias e, também, exóticas superiores em crescimento.	Suhaendi (1998), Graudal e Moestrup (2017), Rimbawanto (2019).
Década de 1960	Início das atividades de melhoramento genético da teca em Ngao, província de Lampang, Tailândia, no ano de 1965, com sua consequente intensificação a partir da criação do Teak Improvement Center (TIC). As principais atividades conduzidas no decorrer do tempo têm sido: implantação de testes de procedências, progênies e testes clonais; seleção de árvores superiores; desenvolvimento de técnicas de propagação de genótipos superiores; estabelecimento de áreas de produção de sementes, de bancos clonais e de pomares de sementes clonais.	Keiding (1966), Kanchanaburangura (1976), Keiding et al. (1986), Tangmitcharoen (1997, 2019), Kaosa-Ard et al. (1998a, 1998b), Graudal el al. (1999), Rao et al. (2001), Wattanasuksakul (2019).
1961	Início do melhoramento genético da teca pelo State Forest Department, sob responsabilidade do Governo da Índia. Desde então, uma grande quantidade de trabalhos foi realizada na geração de conhecimentos sobre diferenças entre e dentro de procedências e quanto ao desempenho da teca para caracteres de crescimento, florescimento e frutificação. Há também ações de coleta e beneficiamento de sementes, de criação de áreas de produção de sementes, seleção de árvores elites e estabelecimento de testes de progênies, de bancos clonais e de pomares de produção de sementes, com foco na geração de genótipos superiores para estabelecimento de plantios.	Kedharnath e Matthews (1962), Venkatesh et al. (1986), Sharma e Rawat (1998), Kumar (2019).
1965	Estabelecimento da cooperação entre o governo da Tailândia e da Dinamarca, contemplando ações voltadas aos temas de melhoramento genético e silvicultura da teca.	Keiding (1966), Hedegart (1971b).

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Ano	Marcos históricos em prol do melhoramento genético da teca	Referências
1971	Uma rede experimental, composta por 48 testes de procedências de teca, foi estabelecida em nove países (Brasil, Costa do Marfim, Gana, Índia, México, Nigéria, Papua Nova Guiné, Porto Rico e Tailândia) entre os anos de 1973 e 1974. Essa rede teve origem em um programa formulado pela Food and Agriculture Organization (FAO) e pela Danish International Development Agency (Danida) em 1969. Em 1971, foi iniciada a coleta do germoplasma, sendo que um total de 75 procedências foram amostradas, em oito zonas ecológicas-geográficas: Índia úmida, Índia semiúmida, Índia seca, Laos, Tailândia e Indonésia, raças locais da África e da América Latina. As amostras das procedências incluídas nesta rede representam parte considerável da área de distribuição natural da teca, exceto Mianmar. As procedências de Mianmar não estavam disponíveis na época do estabelecimento dos testes. Os resultados dessa rede experimental são apurados em profundidade por Kjaer e colaboradores.	Pinto Júnior e Jacob (1979), Pinto Júnior et al. (1981), Kjaer et al. (2008).
1973	Início do estabelecimento da série chinesa de testes de procedências de teca. As procedências testadas são compostas por antigas introduções à China, da Birmânia (atual Mianmar), da Malásia, da Indonésia e da Índia, em conjunto com novas introduções da Birmânia, da Tailândia e da Índia. Uma procedência de Sungam, Kerala, região sudoeste da Índia, apresentou volume de madeira 50% superior em relação à melhor procedência birmanesa e mostrou melhor resistência à seca, em comparação com procedências da Birmânia e da Tailândia, em testes precoces de campo.	Bingchao et al. (1986), Graudal e Moestrup (2017).
Década de 1980	No decorrer do tempo, ações ligadas ao melhoramento genético de teca têm sido estabelecidas em Mianmar, com foco na produção de genótipos melhorados, seja via seminal ou clonal, para o estabelecimento de plantios comerciais. Neste sentido, têm sido realizados: estabelecimento de áreas de produção de sementes, de pomares de sementes por mudas, de pomares de sementes clonais, seleções de árvores elites e propagação vegetativa.	Htun e Kaufmann (1980), Gyi et al. (1984), Gyi (1993), Min e Lwin (2004), Lwin et al. (2010), Shwe et al. (2015), Moe (2019), Win (2019), Dunker et al. (2020).
1981	Início do Programa de Melhoramento Genético de teca na Indonésia, com ações ligadas ao estabelecimento de bancos clonais, de pomares de sementes por clones, de testes de progênies e seleção de árvores elites. Com o passar dos anos, ações de pesquisa e desenvolvimento têm sido executadas por algumas instituições neste país, como: Perhutani Teak Centre em Cepu Central, Java; University of Gadjah Mada e Centre for Forest Biotechnology and Tree Improvement em Yogyakarta, Indonésia.	Rimbawanto (2019).

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Ano	Marcos históricos em prol do melhoramento genético da teca	Referências
1990	Estabelecimento do Plant Biotechnology Laboratory, o qual consiste em um projeto colaborativo entre a divisão florestal do Yayasan Sabah Group (YSG) e o Centre de Coopération Internationale em Recherche Agronomique pour de Dévelopment (Cirad). Esse projeto tem procurado reunir o maior número possível de recursos genéticos de teca no YSG, em Sabah, no Leste da Malásia. Essas ações visam ao estabelecimento de populações base para melhoramento genético da espécie, com foco na seleção de clones elites para estabelecimento de plantios comerciais. Esses clones têm sido testados e, também, plantados em escala comercial em vários países, inclusive com bons desempenhos também no Brasil.	Goh e Monteuuis (2005, 2009, 2012), Goh et al. (2007, 2013), Monteuuis e Goh (1999, 2018), Monteuuis et al. (2011), Murillo et al. (2013).
1997	Estabelecimento da Cooperativa de Conservación y Mejoramiento Genético Forestal da Costa Rica (Genfores), focada em ações de conservação e melhoramento genético de espécies florestais, incluindo a teca. Essa cooperativa é formada por uma parceria estabelecida entre a Escuela de Ingeniería Forestal do Instituto Tecnológico de Costa Rica, empresas públicas e, também, empresas privadas. As empresas associadas estão localizadas em vários países americanos, além da Costa Rica. Essa cooperativa visa: i) promover o uso racional e a conservação de recursos genéticos florestais, ii) reduzir os custos e aumentar a produtividade de madeira dos plantios, iii) aprimorar a gestão de recursos com pesquisa, capacitação, adequação e transferência de tecnologia, iv) vincular práticas acadêmicas com as necessidades do setor florestal e v) contribuir com a atração de investimentos ao setor. As três linhas mestras de atuação em pesquisa da Genfores são: genética quantitativa, silvicultura clonal e genética molecular. A cooperativa tem produzido sementes melhoradas e mudas clonais de teca também para a exportação.	Costa et al. (2007, 2012), Lozano (2010), Assis e Resende (2011), Murillo et al. (2013, 2019), Maroto (2017), Segura (2017), Loría (2018), Monteuuis e Goh (2018), Hine et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019).
1997	Lançamento do manual com procedimentos sobre como efetuar a polinização controlada da teca.	Tangmitcharoen (1997), Wattana-suksakul (2019).
1999	Lançamento de publicação contendo a identificação dos requisitos para a conservação dos recursos genéticos de teca na Tailândia e apresentação do plano e do orçamento para implementação das atividades de conservação propostas naquele país. Como representa uma referência no tema, esse documento pode também ser usado como balizador para o planejamento de programas similares de conservação da teca em outros países ou, mesmo, como modelo para outras espécies florestais.	Graudal et al. (1999).

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Ano	Marcos históricos em prol do melhoramento genético da teca	Referências
2001	Início do Programa de Melhoramento Genético da teca do Instituto de Investigaciones Forestales em Cuba.	Fleitas-Camacho et al. (2010).
2010	Lançamento da publicação com as diretrizes mais recentes para o melhoramento genético da teca na Índia, com foco em pomares de sementes, polinização controlada e seleção de clones elites.	Palanisamy et al. (2010).
2013	Na World Teak Conference de 2013 foram estabelecidas algumas diretrizes no âmbito do melhoramento da teca, sendo: i) O programa de conservação genética deve ser desenvolvido como parte integrante do melhoramento genético de árvores e do manejo das plantações; ii) A estratégia de melhoramento genético deve ser formulada com maior consideração à conservação genética do pool genético existente; iii) A delimitação das zonas das procedências e a colheita controlada de sementes nas áreas de produção estabelecidas nessas zonas devem ser vistas como prioritárias; iv) É recomendada uma reavaliação dos arquivos de clones e de pomares de sementes clonais existentes, pois as origens das raças locais precisam ser investigadas e sua diversidade melhor avaliada; v) Intercâmbios de materiais genéticos devem ser promovidos, para maximizar o programa de melhoramento da teca e a produção de madeira das plantações; vi) A produção de sementes, por pomar de sementes clonais, exige pesquisas mais urgentes para superar os problemas existentes; vii) As ferramentas biotecnológicas devem ser usadas em consonância com o melhoramento genético intensivo; viii) O desenvolvimento de capacidades deve ser priorizado para atender às necessidades de compartilhamento de informações, treinamentos, workshops, conferências técnicas, visitas de campo e financiamentos de bolsas de pesquisa; ix) Há a necessidade de fortalecimento das cooperações mútuas entre Teaknet, International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) e agências internacionais, regionais e nacionais; x) Os especialistas em teca devem ser mobilizados quanto às necessidades dos países em desenvolvimento, de modo a incrementar o intercâmbio de conhecimentos; xi) A avaliação de risco deve ser levada em consideração, em conjunto com o pacote de seguro e xii) nichos de mercados inovadores devem ser desenvolvidos para a madeira de teca "jovem".	Tangmitcharoen (2019).
2014	Lançamento de publicação sobre o status dos recursos genéticos florestais mundiais, sendo a teca eleita como prioritária, entre 20 espécies florestais, para conservação e manejo em mais de 20 países envolvendo: África, Ásia, Europa, América Latina e Caribe, Oriente Próximo, América do Norte e Oceania, de acordo com classificação regional proposta pela FAO. Neste levantamento, a teca é reportada entre as três espécies florestais mais comuns em ações de melhoramento e conservação global e a terceira espécie mais plantada em pomares de sementes nessas regiões, com finalidade de conservação genética e produção de sementes melhoradas, exceto na América do Norte.	FAO (2014).

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Ano	Marcos históricos em prol do melhoramento genético da teca	Referências
2017	Lançamento da publicação "The Global Teak Study", contendo dois itens sobre o status global da variação genética da teca em florestas naturais e plantadas (seminais e clonais). Essa publicação foi feita por meio de parceria entre International Tropical Timber Organization (ITTO), IUFRO e FAO.	Graudal e Moestrup (2017); Monteuuis e Goh (2017).
2017	Iniciativa lançada por meio de parceria estabelecida entre ITTO, IUFRO e FAO, com foco na conservação de recursos genéticos, na produção de sementes e no manejo de florestas naturais e plantadas de teca localizadas na África, na Ásia e na América Latina. Este trabalho inclui a identificação de materiais reprodutivos superiores, em produção e qualidade da madeira, de diferentes procedências, em vários países, com foco na caracterização e na padronização de madeira de curta rotação, para uso no mercado mundial (Genetic Business Plan).	Kollert e Kleine (2017).
2019	Realização do I Workshop Regional "Sustaining Teak Management in Mekong Basin" em Yangon, Mianmar, como parte de um programa de manejo de teca apoiado pela ITTO intitulado "Enhancing Conservation and Sustainable Management of Teak Forests and Legal and Sustainable Wood Supply Chains in the Greater Mekong Sub-Region", atualmente em implementação nos cinco países da sub-região do Rio Asiático Mekong, com apoio financeiro do Ministério Federal de Alimentos e Agricultura da Alemanha. Esse evento contou com a presença de cerca de 40 pesquisadores e especialistas de 14 países representando universidades, formuladores de políticas, gerentes de plantações de teca, indústrias madeireiras, organizações internacionais, ONGs e governos, inclusive com participação de integrantes brasileiros. Na oportunidade foram apresentadas ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação de teca, em várias áreas temáticas, inclusive àquelas que vêm sendo conduzidas em prol da conservação e do melhoramento genético, em nível mundial.	Kumar (2019), Moe (2019), Rimbawanto (2019), Tangmitcharoen (2019), Trisurat (2019), Wattanasuksakul (2019).

Melhoramento genético da teca no Brasil

No Brasil, as iniciativas ligadas ao melhoramento genético da teca aparentemente não estão integradas em um programa estruturado de melhoramento genético de longo prazo, sendo que as atividades disponíveis na literatura conduzidas até o momento podem ser divididas em: introduções, avaliações e maior conhecimento quanto à adaptação de

algumas procedências, progênies ou clones (Golfari et al., 1978; Pinto Júnior e Jacob, 1979; Pinto Júnior et al., 1981; Diniz, 1999; Ferreira, 2001; Kjaer et al., 2008; Goh; Monteuuis, 2012; Miranda, 2013; Murillo et al., 2013; Barreta, 2015; Costa et al., 2015; Corrêa, 2016; Silva et al., 2017; Monteuuis; Goh, 2018; Pereira, 2019; Pereira; Arriel, 2019; Pereira et al., 2020; Proteca, 2020), seleção massal de candidatos a clones em plantios comerciais seminais (Giustina et al., 2017; Proteca, 2021), proposição de descritores morfológicos e moleculares de acessos (Avelar, 2015; Lima, 2015; Alcântara et al., 2016; Chimello et al., 2017; Marques et al., 2018; Mata, 2018; Reategui, 2018; Betancourt, 2019; Perozo, 2019 Reategui-Betancourt et al., 2020; Viana, 2020), avaliação da diversidade genética por marcadores moleculares (Alcântara; Veasey, 2013; Chimello, 2016; Oliveira, 2016, 2020; Zucarelli, 2016; Chimello et al., 2017; Giustina et al., 2017; Alexandre et al., 2019; Lara, 2019; Nunes et al., 2019a, 2019b; Perozo, 2019; Poncioni, 2019; Alexandre, 2020; Queiroz, 2020; Silva, 2020; Jesus, 2021), avaliação da tolerância a algumas doenças de importância econômica (Borges et al., 2015; Jesus, 2016; Bastos et al., 2018; Arenhart et al., 2019; Barceli et al., 2019), fenologia (Silva; Arriel, 2019) e viabilidade e conservação de grão de pólen (Silva; Arriel, 2018). Nesses trabalhos, há destaque para as ações conduzidas pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e pela Universidade Estadual de Mato Grosso (Unemat), em parceria com empresas privadas, cujo maior polo de produção de madeira de teca no Brasil se encontra em Mato Grosso.

Várias publicações ressaltam a carência de programas de melhoramento genético de teca no País e sobre a necessidade de se consolidar um programa e estabelecer uma rede experimental, na qual parcerias seriam constituídas por instituições públicas de ensino, pesquisa e, ou extensão associadas às empresas privadas envolvidas no cultivo da espécie (Costa; Resende, 2001; Costa et al., 2007, 2012, 2015; Schühli; Paludzyszyn Filho, 2010; Assis; Resende, 2011). A recomendação, presente com unanimidade nessas publicações, é que sejam estabelecidos testes de procedências, progênies e clonais, repetidos em locais representativos dentro da zona de melhoramento de interesse para teca, além de continuidade dos ciclos de seleção recorrente com vistas à contínua geração de cultivares superiores.

No âmbito do melhoramento, são ressaltados dois softwares disponibilizados gratuitamente pela Embrapa Florestas, sendo um deles já bastante utilizado em análises estatísticas para a seleção de candidatas à cultivares de teca (Selegen REML/BLUP®), também usado pela cooperativa Genfores da Costa Rica (Resende, 2007a, 2007b; Murillo et al., 2013) e outro que também pode ser usado na prognose de crescimento e produção desses germoplasmas (SisTeca®), sendo este último descrito em capítulo específico também neste livro. A partir do estabelecimento de uma rede experimental, vários resultados relevantes quanto ao

desempenho de diferentes procedências, progênies e clones poderão ser obtidos e, também, a seleção e recomendação contínua de cultivares mais bem adaptadas aos locais apropriados para o plantio dessa espécie no Brasil.

Há relatos de duas procedências de teca mais utilizadas no Brasil, sendo a primeira originária de Tennasserim/Mianmar e inicialmente plantada em Trinidade e Tobago (Assis; Resende, 2011; Murillo et al., 2013). A segunda procede do Sri Lanka, sendo plantada inicialmente no Panamá (Assis; Resende, 2011; Murillo et al., 2013). A necessidade de implantação de novos testes de germoplasmas é corroborada também pelo desempenho superior de alguns clones importados, em relação àquelas procedências mencionadas anteriormente (Goh; Monteuuis, 2012; Murillo et al., 2013; Chimello et al., 2017). Alguns desses clones estão registrados como cultivares no Sistema Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), em cumprimento ao requisito de comercialização dos mesmos, por parte de viveiros credenciados (Brasil, 2021). Neste contexto, cabe ressaltar que a parceria estabelecida entre o o SNPC/Mapa, a UFMT, a Esalq, a UFPR e as empresas Proteca Biotecnologia e Bioteca Ltda., a qual desenvolveu e disponibilizou no site do SNPC/Mapa, os descritores mínimos necessários para registro e proteção de cultivares de teca no Brasil, uma vez que não existem diretrizes internacionais para a proteção de cultivares dessa espécie (Brasil, 2020).

Estratégia de melhoramento genético da teca

A teca é uma espécie diplóide (2n = 36 cromossomos), predominantemente alógama e polinizada por insetos, em especial abelhas (Hedegart, 1976; Mathew et al., 1987; Kertadikara; Prat, 1995a; Kjaer; Suangtho, 1995; Pattanaik; Shiva, 2017; Zhao et al., 2019). Assim, a estratégia de melhoramento empregada costumeiramente no melhoramento de outras espécies florestais alógamas, pode ser aplicada ao melhoramento genético da teca (Costa; Resende, 2001; Costa et al., 2007, 2012; Assis; Resende, 2011).

A seleção recorrente é a estratégia mais indicada e usada no melhoramento de caracteres quantitativos, como é o caso daqueles ligados à produção de madeira da teca, já que são controlados por muitos genes (poligenes), muito influenciados pelo ambiente e, em geral, com estimativas de herdabilidade variando de baixas à moderadas (Ramalho et al., 2012). Informações sobre os caracteres utilizados no melhoramento da teca e seus controles genéticos serão abordadas em outros itens deste capítulo.

A seleção recorrente se caracteriza por qualquer processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção das progênies, a avaliação e a recombinação das melhores árvores. Em consequência, é esperado aumento na frequência de alelos favoráveis, que se manifestam por meio da melhoria da expressão fenotípica do caráter sob seleção (Ramalho et al., 2012). Com isso, haverá não somente melhoria na média do caráter de interesse, mas também manutenção da variabilidade genética para progressos futuros da seleção (Hallauer, 1986). Desse modo, serão geradas, continuamente, novas combinações genotípicas e, consequentemente, ganhos genéticos adicionais serão obtidos. Em publicação que trata do melhoramento genético de plantas de propagação assexuada, Resende e Barbosa (2005) apresentam detalhes dos tipos de seleção recorrente possíveis para espécies como a teca, já que se trata de uma espécie com baixa produção de sementes, mas que pode ser facilmente propagada assexuadamente.

O primeiro passo para a estruturação de um programa de melhoramento da teca, com base na seleção recorrente, consiste na constituição da população base. Em geral, essa população pode ser obtida via seleção fenotípica (massal) de árvores superiores, realizada com base em caracteres de importância econômica ao melhoramento, quer seja em áreas florestais nativas, ditas áreas de coleta de sementes (ACS) ou em plantios seminais comerciais, desde que devidamente autorizados, tecnicamente e legalmente, às práticas de coletas das sementes (Assis, 1996). Outro fato importante é que a essa população base seja resguardado um adequado tamanho efetivo.

A seleção fenotípica das árvores matrizes em ACS é feita com base em um dos sexos, no caso a genitora, sendo a intensidade do ganho de seleção correlacionado com o grau de desempenho, não somente da genitora selecionada, mas também do genitor ou dos genitores que forneceram pólens para a produção das sementes coletadas. Poderão ser usados também para a composição de população base, acessos reconhecidamente superiores obtidos em outros programas de melhoramento genético. Vale frisar a importância de se selecionar árvores superiores e, também, com adequada divergência genética para os caracteres de interesse, de modo a se garantir ganhos futuros no avanço das gerações de melhoramento. As sementes coletadas nas ACSs apresentam baixo ganho genético, em virtude de a seleção ser feita apenas no genitor feminino, mas podem ser utilizadas no estabelecimento de plantios comerciais, com vantagens em relação às sementes selvagens, ou mesmo em relação às sementes melhoradas provenientes de outros locais. Sua utilização pode ser feita até que outras unidades de produção de sementes, que produzem maiores ganhos (área produtora de sementes (APS), pomar de sementes por mudas (PSM) ou pomares de sementes por clones (PCS)), atinjam níveis de produção comercial de sementes (Assis, 1996).

As APSs são estabelecidas em plantios comerciais, com bons caracteres de crescimento, onde são selecionadas as melhores árvores para a recombinação (seleção fenotípica) e as restantes são eliminadas (Assis, 1996). Como a seleção é feita em ambos os genitores, normalmente os ganhos são maiores e podem ser até o dobro daqueles obtidos nas ACSs (Assis, 1996). O tamanho da APS pode ser planejado em função da demanda de sementes. Para uma produção de sementes com boa qualidade genética, normalmente são deixadas em torno de 150 árvores ha^{-1} (Assis, 1996).

É importante também frisar que deve haver uma semelhança das condições ambientais entre o local de seleção de cada material genético, que irá compor a população base e a zona de melhoramento, ou seja, onde serão plantadas futuramente as cultivares a serem obtidas (Kjaer et al., 2000). Esse é o motivo pelo qual é dada tanta ênfase às condições ambientais das áreas naturais de ocorrência e aos requerimentos ambientais da teca, nos capítulos que tratam da caracterização e silvicultura da teca presentes também neste livro.

Após a conclusão do processo seletivo das melhores árvores, que irão constituir a população base, são colhidas sementes melhoradas, as quais terão seus desempenhos avaliados em testes de procedências e, ou progênies, preferencialmente em locais com condições ambientais contrastantes, dentro da zona de melhoramento. Os ensaios de procedências e, ou progênies são utilizados para a avaliação dos parâmetros genéticos nos programas de melhoramento. Em virtude da sua facilidade de instalação e metodologias de avaliação consolidadas, esses experimentos permitem selecionar os indivíduos com desempenho superior aqueles obtidos na ACS e na APS (Assis, 1996).

Há vários relatos de implantação, condução e avaliações de testes de procedências e progênies de teca, essencialmente de polinização aberta, em diversas partes do mundo. Esses relatos foram apresentados nos trabalhos de: Keiding (1966), Hedegart (1971a), Persson (1971a, 1971b), Delaunay (1977), Piot (1977), Pinto Júnior e Jacob (1979), Pinto Júnior et al. (1981), Gyi et al. (1984), Bingchao et al. (1986), Madoffe e Maghembe (1988), Jaijing (1994), Swain et al. (1996), Kaosa-Ard et al. (1998a, 1998b), Diniz (1999), Swain (1999), Danarto e Hardiyanto (2000), Sharma et al. (2000), Mathew e Vasudeva (2003), Minn e Win (2004), Bendale et al. (2005), Goh e Monteuuis (2005, 2009), Aguilar (2007), Pedersen et al. (2007), Fofana et al. (2008), Kjaer et al. (2008), Wardani (2008), Hadiyan (2009), Kokutse et al. (2009), Fleitas-Camacho et al. (2010), Lwin et al. (2010), Puspitasari et al. (2010), Chaix et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Nocetti et al. (2011), Goh et al. (2013), Hidayati et al. (2013a), Sadono et al. (2014), Costa et al. (2015), Loría (2018), Medina (2018), Prehaten et al. (2018), Adu-Bredu et al. (2019), Llanos-Mayor et al. (2019), Murillo et al. (2019),

Prasetyawati e A'ida (2019) e Pereira et al. (2020). Na Tailândia, há relato de obtenção de progênies de irmãos completos, via polinização artificial em teca (Tangmitcharoen, 1997, 2019; Wattanasuksakul, 2019). Entretanto, aparentemente não há relatos de publicações sobre as avaliações desse germoplasma.

Foi encontrado um relato de um teste de progênies clonadas (experimento estabelecido com mudas seminais e clonais) de teca na Austrália (Callister; Collins 2008; Callister, 2013). Quando comparado aos testes de progênies "comuns" (mudas seminais), esse tipo de teste permite a obtenção simultânea de grande número de estimativas tais como: i) efeitos genéticos aditivos e não aditivos; ii) herdabilidades no sentido amplo e restrito; iii) correlações entre caracteres, em nível de progênies e de clones e iv) melhoria da acurácia das predições dos valores genéticos aditivos e genotípicos. Entretanto, uma das críticas a esse tipo de teste é a exigência de grande esforço, em termos financeiros e laborais, para se clonar e avaliar grande quantidade de genótipos e que, em geral, serão, na maioria, posteriormente identificados como de desempenho inferior na população segregante. Entretanto, esse tipo de experimento tem sido mais difundido no melhoramento de espécies de *Eucalyptus* no Brasil, também em tentativa de encurtamento do tempo gasto para a geração de novas cultivares.

Em geral, nos testes de progênies são avaliados os caracteres[9] de importância econômica dos indivíduos presentes no experimento e selecionados sob elevada intensidade de seleção, aqueles superiores na idade de corte de plantios comerciais tradicionais ou, então, em idade precoce, mas desde que se tenha comprovada uma alta correlação de desempenho desses caracteres entre a idade precoce e a idade de rotação. Na Índia, há relato de seleção precoce de genótipos de teca praticada aos dez anos de idade (Kumar, 2019). Neste ponto, pode-se fazer o desbaste das árvores inferiores dos testes de procedências e, ou progênies, deixando-se em campo somente as melhores árvores para recombinação e posterior coleta de sementes melhoradas.

A partir da condução do desbaste, o qual pode ser feito em uma ou mais etapas dependendo do caso, são deixadas para recombinação (polinização aberta) as melhores árvores e, assim, o teste de progênies é transformado em PSM (Assis, 1996). As sementes melhoradas produzidas são usadas em novos ciclos de seleção de melhoramento e, a depender da quantidade produzida e de sua viabilidade, podem também servir como fonte de sementes melhoradas para plantios comerciais de teca (cultivar seminal) (Assis, 1996). Entretanto, conforme já mencionado anteriormente, há enorme deficiência na produção de frutos e sementes e, também, na taxa de germinação de sementes de teca. Deve-se considerar que a produção de sementes é também limitada nos PSMs, devido à baixa quantidade de árvores remanescentes após a seleção. Assim, mesmo que a quantidade de progênies testadas seja

[9] Em decorrência dos elevados custos, as avaliações que envolvem análises laboratoriais das propriedades tecnológicas da madeira e de tolerância/resistência às doenças e aos insetos-pragas têm sido feitas, em geral, com menor número de repetições ou somente no screening dos melhores genótipos selecionados (clones).

alta, não haverá quantidade de árvores suficiente para uma grande produção de sementes. A produção de sementes pode ser aumentada mediante a clonagem dos indivíduos de maior valor genético e estabelecimento de PSCs, cujo número de repetições/cópias de indíviduos por clone é definido de acordo com a média de produção de sementes de cada um dos selecionados e pela quantidade de sementes comerciais necessárias a serem produzidas.

Em decorrência dessas dificuldades quanto à produção e à germinação das sementes de teca, muitas ações de melhoramento dessa espécie ao redor do mundo têm sido centradas na seleção e na clonagem de árvores elites. Neste caso, os testes clonais são utilizados ao invés dos testes de procedências e, ou progênies (Costa; Resende, 2001; Costa et al., 2007; Assis; Resende, 2011). Após a seleção de árvores superiores, nas áreas de ocorrência natural ou em plantios seminais comerciais, normalmente, são avaliadas as capacidades de brotação e de enraizamento das estacas obtidas das árvores, candidatas aos futuros clones/cultivares e selecionadas aquelas superiores também para esses caracteres.

No Brasil, em programas de melhoramento de eucalipto, o crivo de seleção para a capacidade de enraizamento tem sido de, pelo menos, 70%, ou seja, de cada 100 propágulos vegetativos de uma árvore matriz destinados à produção de mudas, ao menos 70 devem enraizar adequadamente com produção de mudas de forma satisfatória. Esse é um valor que garante a factibilidade econômica da propagação comercial de um clone selecionado. Na Índia, a capacidade de enraizamento de diferentes clones de teca tem variado entre 45-100% (Palanisamy et al., 2009, 2010), o que demonstra a presença de variação para esse caráter e possibilidades de ganho de seleção de árvores individuais para o aumento na taxa de enraizamento, a qual tem sido relatada como de herança materna, em experimentos com espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no Brasil (Assis et al., 2015). Isso quer dizer que as árvores com maiores capacidades de brotação e de enraizamento devem ser usadas como genitores femininos, nos programas de recombinação, de forma que a facilidade de enraizamento seja repassada à descendência. Após a passagem por esse crivo, a superioridade genética dos clones é aferida em testes clonais comparativos em vários ambientes contrastantes dentro da zona de melhoramento, a depender dos recursos disponíveis.

É reconhecida que a eficiência do uso de testes de progênies ou testes clonais para testar as árvores matrizes é dependente do número (N) de plantas usado para representar a matriz, sendo: com $N < 30$, o teste clonal é sempre melhor que o teste de progênies; com $N = 30$ e na presença de dominância completa, as duas formas de teste se equivalem; na ausência de dominância, o teste clonal é sempre melhor que o teste de progênies; com dominância completa e $N = 100$, o teste de progênies é 14% superior (Costa; Resende, 2001;

Costa et al., 2012). Assim, devido às restrições na produção de grande quantidade de mudas seminais por matrizes de teca, a utilização de testes clonais é adequada (Costa et al., 2012; Costa; Resende, 2001).

Na prática, nota-se que testes clonais de teca têm sido avaliados, variando desde aqueles inferiores a uma dezena até centenas de diferentes tratamentos/clones. Neste cenário, foram encontrados relatos da avaliação do desempenho de clones em diversos países, como descritos por: Keiding (1966), Suksileung et al. (1975), Venkatesh et al. (1986), Ahmad (1987), Mishra (1992), Meshram et al. (1994), Roychouddury e Joshi (1996), Kumar et al. (1997), Palupi e Owens (1997, 1998), Indira e Bhat (1998), Jain et al. (1998, 2002), Kaosa-Ard et al. (1998a, 1998b), Krishnan et al. (1999), Monteuuis e Goh (1999, 2018), Gera et al. (2001), Mathew e Vasudeva (2003), Hedge et al. (2004), Rance e Monteuuis (2004), Vasudeva et al. (2004), Goh e Monteuuis (2005, 2009, 2012), Tangmitcharoen et al. (2006a, 2009), Varghese et al. (2006), Goh et al. (2007), Gunaga e Vasudeva (2009), Nicodemus et al. (2009), Palanisamy et al. (2010), Gunaga et al. (2011), Moya e Marín (2011), Shukla et al. (2011), Sofyan et al. (2011), Solórzano et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Hidayati et al. (2013b, 2014), Mahmud e Hossain (2013), Moya et al. (2013), Muslimin et al. (2013), Nurrudin (2013), Sadono (2014, 2019), Surendran (2014), Vinutha e Javaregowda (2014), Avelar (2015), Barreta (2015), Kambale et al. (2015), Lima (2015), Shwe et al. (2015), Behera e Bhol (2016), Behera et al. (2016), Corrêa (2016), Sett et al. (2016), Huang et al. (2016, 2019a, 2019b), Patil et al. (2016), Budiadi et al. (2017), Giustina et al. (2017), Jibkate et al. (2017), Maroto (2017), Meunpong et al. (2017), Nayak et al. (2017), Pattanaik e Shiva (2017), Pradhan et al. (2017), Segura (2017), Silva et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Marques et al. (2018), Modi et al. (2018), Adinugraha et al. (2019), Damayanti et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019), Pereira (2019), Perozo (2019), Baskorowati et al. (2020), Mulyadiana et al., (2020), Queiroz (2020) e Roychoudhury et al. (2020a, 2020b). Em geral, têm sido observados bons desempenhos de clones nos vários testes conduzidos, sendo encontrado, ao menos, um clone com comportamento superior à média em cada um dos vários experimentos anteriormente mencionados. Resultados relacionados ao efeito da interação clones x ambientes, às herdabilidades e às correlações genotípicas obtidas nesses testes são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Nestes relatos é bastante comum a menção do uso desses testes clonais também como PSCs, ou seja, os clones destes testes forneceram ou ainda têm fornecido sementes melhoradas para avanço de gerações de melhoramento e no atendimento de demandas por sementes melhoradas para plantios comerciais de teca. No entanto, ainda assim, há relatos de baixa produção de sementes melhoradas devido à baixa taxa de florescimento, à assincronia de

florescimento entre árvores, à baixa produção de frutos, aos problemas na germinação e aos indícios de interação genótipos x ambientes para o florescimento (Palanisamy et al., 2009, 2010; Monteuuis; Goh, 2018).

Uma metodologia oportuna para aplicação no melhoramento da teca, e que vem sendo bastante utilizada para os eucaliptos que têm sido extensivamente melhorados no Brasil, consiste na condução de testes clonais ditos de primeira e segunda fase, após seleção de árvores candidatas a clones/cultivares (Alfenas et al., 2009; Fonseca et al., 2010). No teste clonal de primeira fase (TC1), é avaliado um elevado número de diferentes clones/tratamentos, com menor número de repetições e de locais. Após avaliação e seleção dos melhores clones no TC1, testes clonais de segunda fase ou ampliados (TC2 ou TCA) são instalados com menor número de clones (aqueles identificados como superiores no TC1), maior número de repetições e condução de avaliações em um maior número de ambientes dentro da zona de melhoramento (Alfenas et al., 2009; Fonseca et al., 2010). Como última etapa, os melhores clones selecionados nos TC2 são avaliados em plantios pilotos (parcelas monoclonais com grande número de indivíduos) e, posteriormente, têm-se a seleção dos melhores clones e procede-se ao registro e à recomendação das cultivares a serem plantadas pelas empresas e, ou comercializadas (Alfenas et al., 2009; Fonseca et al., 2010). Por meio dessa série de testes clonais, implantada em diferentes anos e ambientes, com aferição da interação genótipos x ambientes (locais e anos de plantio), aumenta-se a confiabilidade do processo seletivo. A interação genótipos x ambientes em experimentos com teca tem sido avaliada em algumas oportunidades e será vista em um item específico deste capítulo.

Vale ressaltar que embora a seleção e a recomendação de clones para plantios comerciais sejam bem-sucedidas e aceitas (Figuras 1 e 2), a clonagem é considerada uma estratégia "fim de linha" dentro dos programas de melhoramento genético. Isso quer dizer que novos ganhos de seleção, que são continuamente almejados, devem ser embasados em novos ciclos de seleção, pautados não somente na introdução de novos materiais selecionados, via seminal ou clonagem, mas também na recombinação entre os melhores clones já existentes para determinada zona de melhoramento. A recombinação é chave para o sucesso do programa de melhoramento genético, pois possibilita o cruzamento entre as melhores árvores e favorece a exploração da variabilidade genética gerada no cruzamento entre aquelas árvores com bom desempenho quanto aos caracteres de interesse, de modo a favorecer cruzamentos de genótipos "bom x bom", como preconizado por Dudley e Moll (1969) e Rasmusson e Phillips (1997). Ademais, possibilita a comparação dos indivíduos em suas várias gerações, muitas vezes sem que se percam as árvores matrizes que foram clonadas.



Foto: Fabrício Antonio Biernaski

Figura 1. Plantio monoclonal de teca sem desbaste, no período das chuvas, no estado de Mato Grosso.



Foto: Sérgio Aurélio B. Gonçalves

Figura 2. Plantio monoclonal comercial de teca, aos 13,5 anos de idade, no município de Planaltina, DF.

Neste sentido, torna-se também pertinente a avaliação da capacidade geral e específica de combinação dos clones, como forma de balizar o planejamento das recombinações a serem realizadas entre os melhores genótipos. Há relatos de estimativas de capacidade geral de combinação (CGC) em clones de teca, tanto para caracteres de crescimento: Swain et al. (1996), Swain (1999), Sharma et al. (2000), Kumar (2019) e Narayanan et al. (2009), quanto para algumas propriedades tecnológicas da madeira, conforme relato de

Narayanan et al. (2009). Estimativas mais apuradas, ou seja, de pares de clones de teca que melhor se complementam/recombinam (capacidade específica de combinação - CEC) parecem ainda não presentes na literatura. A implantação de testes de progênies de irmãos completos, com sementes melhoradas procedentes de polinização artificial e o uso de clones parentais como testemunhas, poderão contribuir para o advento e aprimoramento dessas estimativas e, consequentemente, permitir uma melhor compreensão do desempenho da teca, sob delineamentos dialélicos.

As sementes melhoradas podem ser obtidas de duas maneiras: a) por meio da recombinação por polinização aberta das melhores árvores nas áreas ou pomares de sementes, em testes de procedências e progênies devidamente desbastados ou em testes clonais, por exemplo, e b) por meio de polinização controlada, a qual pode ser utilizada em pomares de sementes tradicionais (mais comuns em teca) ou em pomares indoors ou outdoors estabelecidos com materiais enxertados (redução de porte e redução da idade do florescimento) e uso de hormônio para indução de florescimento e redução ainda maior da idade de florescimento, além daquela proporcionada pela enxertia. Há protocolo estabelecido de polinização controlada em teca (Tangmitcharoen, 1997; Wattanasuksakul, 2019) e, também, há relato de avaliação de indução de florescimento com o hormônio paclobutrazol, como forma de acelerar os ciclos de seleção (Kumar, 2019), similarmente ao que já vem sendo realizado com eucalipto no Brasil (Fonseca et al., 2010). Neste sentido, em capítulo específico deste livro, será dada a devida ênfase à polinização controlada em teca.

Após a recombinação, com a obtenção das sementes dos melhores genótipos/cultivares, dá-se início a um novo ciclo de seleção recorrente dentro dos programas de melhoramento.

Principais resultados obtidos com o melhoramento genético da teca

Variação em caracteres de importância econômica

São diversos os caracteres que têm sido avaliados no melhoramento genético da teca, podendo-se dividi-los em cinco categorias: **a)** crescimento, **b)** fuste e copa, **c)** propriedades tecnológicas da madeira, **d)** tolerância/resistência a fatores bióticos e abióticos e **e)** propagação seminal e vegetativa (Tabela 3). Observa-se que a maior ênfase, em número de publicações, tem sido dada, aos caracteres de crescimento, de fuste e de copa.

As idades de avaliação dos caracteres, em teca, têm sido variáveis, sendo conduzidas avaliações desde a fase juvenil até adulta nos plantios experimentais. Foram encontrados alguns estudos de avaliação de experimentos, com diferentes genótipos de teca (procedências, progênies ou clones) na fase de viveiro ou, ainda juvenil em campo (Kanchanaburangura, 1976; Gyi et al., 1984; Jayasankar et al., 1999; Hedge et al., 2004; Mahmud; Hossain, 2013; Borges et al., 2015; Costa et al., 2015; Nayak et al., 2016, 2017; Jesus, 2016; Chimello et al., 2017; Barceli et al., 2019; Betancourt, 2019; Galeano et al., 2019; Huang et al., 2019a), sendo nestes casos avaliados caracteres como: altura da muda, diâmetro do coleto, morfologia foliar, crescimento da raiz, tolerância às doenças, dentre outros caracteres relacionados. Detalhes sobre as idades de avaliação de teca em experimentos na fase de campo, os quais, por permitirem avaliações longevas das expressões fenotípicas das árvores, compõem a maioria dos trabalhos publicados, poderão ser apreciados nas tabelas deste capítulo apresentadas nos itens que irão tratar do controle genético e das correlações genéticas entre caracteres.

Avaliações de caracteres em várias idades diferentes em um mesmo experimento com teca, foram realizadas por: Pedersen et al. (2007), Kjaer et al. (2008), Fleitas-Camacho et al. (2010), Chaix et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Callister (2013), Salis (2013), Segura (2017) e Adu-Bredu et al. (2019). Em espécies florestais, a avaliação de um mesmo experimento, em diferentes idades, é importante para entender o comportamento dos caracteres e dos parâmetros fenotípicos e genéticos no decorrer do tempo e, também, na estimativa da eficiência da seleção precoce.

Em todo o universo de publicações consideradas nesta revisão, de modo geral, foram observadas notáveis variações entre procedências, progênies e, ou clones, para quantidade considerável de caracteres avaliados e nas diferentes idades, nos testes de procedências, progênies e clonais estabelecidos em várias partes do mundo. Segundo Kollert e Kleine (2017), têm sido detectadas variações importantes para caracteres econômicos e ecológicos em diferentes materiais genéticos de teca, no decorrer de mais de 60 décadas de estudos em vários países, o que corrobora com os achados da presente revisão. Entretanto, esses autores ressaltam que, ainda assim, os acessos de teca estão longe de serem completamente conhecidos quanto à sua variação, o que denota a importância da continuidade desses trabalhos. Em áreas de distribuição natural, as árvores de teca ocorrem em várias condições ambientais, com diferentes tipos de climas, de fisionomias vegetacionais, de formações geológicas, de taxas de incidência de luz solar, de estimativas e de distribuição da precipitação pluviométrica anual, de relevos, de temperaturas (mínimas, médias e máximas), de solos, de umidades relativas do ar e de

pH do solo, dentre outras (Kaosa-ard, 1989; Kjaer; Foster, 1996; Kollert; Kleine, 2017; Moe, 2019). Esses aspectos contribuem para que variações ocorram entre indivíduos e entre e dentro de populações e de áreas geográficas (Kaosa-ard, 1989; Kjaer; Foster, 1996; Kollert; Kleine, 2017; Moe, 2019).

Tabela 3. Caracteres de importância econômica, avaliados em experimentos de melhoramento genético de teca, conduzidos em diversos países e respectivas referências bibliográficas.

Caráter	Referências
Crescimento	
Altura	Suksileung et al. (1975), Jaijing (1994), Bagchi (1995), Bila et al. (1999), Swain et al. (1999), Sharma et al. (2000), Pedersen et al. (2007), Kjaer et al. (2008), Wardani (2008), Hadiyan (2009), Narayanan et al. (2009), Fleitas-Camacho et al. (2010), Lwin et al. (2010), Chaix et al. (2011), Espitia et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Sofyan et al. (2011), Goh e Monteuuis (2012), Solórzano et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Callister (2013), Goh et al. (2013), Hidayati et al. (2013a, 2013b), Miranda (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013), Muslimin et al. (2013), Nurrudin (2013), Salis (2013), Sadono (2014), Sadono et al. (2014), Sreekanth et al. (2014), Shwe et al. (2015), Behera et al. (2016), Kokutse et al. (2016), Patil et al. (2016), Giustina et al. (2017), Hounlonon et al. (2017), Maroto (2017), Pradhan et al. (2017), Segura (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Loría (2018), Medina (2018), Modi et al. (2018), Monteuuis e Goh (2018), Prehaten et al. (2018), Priyowibowo (2018), Adinugraha et al. (2019), Adu-Bredu et al. (2019), Huang et al. (2019b), Llanos-Mayor et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019), Baskorowati et al. (2020), Mulyadiana et al. (2020).
Área basal	Swain et al. (1999), Sharma et al. (2000), Kjaer et al. (2008), Miranda (2013), Murillo et al. (2013).
Diâmetro à altura do peito (DAP)	Suksileung et al. (1975), Jaijing (1994), Bagchi (1995), Bila et al. (1999), Swain et al. (1999), Sharma et al. (2000), Pedersen et al. (2007), Kjaer et al. (2008), Wardani (2008), Hadiyan (2009), Fleitas-Camacho et al. (2010), Lwin et al. (2010), Chaix et al. (2011), Espitia et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Sofyan et al. (2011), Goh e Monteuuis (2012), Solórzano et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Callister (2013), Hernández (2013), Hidayati et al. (2013a, 2013b), Goh et al. (2013), Miranda (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013, 2019), Muslimin et al. (2013), Nurrudin (2013), Salis (2013), Sadono (2014), Sadono et al. (2014), Behera et al. (2016), Kokutse et al. (2016), Vásquez (2016), Giustina et al. (2017), Maroto (2017), Meunpong et al. (2017), Pradhan et al. (2017), Loría (2018), Medina (2018), Modi et al. (2018), Monteuuis e Goh (2018), Prehaten et al. (2018), Priyowibowo (2018), Adinugraha et al. (2019), Adu-Bredu et al. (2019), Huang et al. (2019b), Llanos-Mayor et al. (2019), Baskorowati et al. (2020), Mulyadiana et al. (2020).

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Caráter	Referências
Crescimento	
Circunferência à altura do peito (CAP)	Narayanan et al. (2009), Shukla et al. (2011), Sreekanth et al. (2014), Shwe et al. (2015), Patil et al. (2016), Hounlonon et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Adu-Bredu et al. (2019).
Incremento médio anual (IMA) em volume de madeira	Hadiyan (2009), Shukla et al. (2011), Behera et al. (2016), Pradhan et al. (2017).
Sobrevivência	Jaijing (1994), Pedersen et al. (2007), Kjaer et al. (2008), Chaix et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Medina (2018), Priyowibowo (2018), Adinugraha et al. (2019), Adu-Bredu et al. (2019), Llanos-Mayor et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019), Mulyadiana et al. (2020).
Volume de madeira	Pedersen et al. (2007), Callister e Collins (2008), Lwin et al. (2010), Monteuuis et al. (2011), Sofyan et al. (2011), Goh e Monteuuis (2012), Callister (2013), Goh et al. (2013), Hidayati et al. (2013a, 2013b), Murillo et al. (2013), Muslimin et al. (2013), Purushottam et al. (2014), Behera et al. (2016), Kokutse et al. (2016), Patil et al. (2016), Vásquez (2016), Jibkate et al. (2017), Pradhan et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Loría (2018), Adinugraha et al. (2019), Adu-Bredu et al. (2019), Huang et al. (2019b), Llanos-Mayor et al. (2019).
Fuste e copa	
Brotação de gemas epicórmicas ao longo do caule[1]	Callister e Collins (2008), Kjaer et al. (2008), Medina (2018), Adu-Bredu et al. (2019), Llanos-Mayor et al. (2019).
Catana/contraforte/ sapopema[2]	Kjaer et al. (2008), Chaix et al. (2011), Espitia et al. (2011), Murillo et al. (2013), Giustina et al. (2017), Adu-Bredu et al. (2019), Piananurak (2019).
Forma do fuste	Bagchi et al. (1989), Bedell (1989), Bagchi (1995), Kaosa-Ard (1999), Kjaer et al. (1999, 2008), Kyaw (2004), Bendale et al. (2005), Pedersen et al. (2007), Callister e Collins (2008), Wardani (2008), Chaix et al. (2011), Espitia et al. (2011), Monteuuis et al. (2011), Sofyan et al. (2011), Goh e Monteuuis (2012), Callister (2013), Miranda (2013), Murillo et al. (2013), Shwe et al. (2015), Vásquez (2016), Giustina et al. (2017), Loría (2018), Medina (2018), Priyowibowo (2018), Adu-Bredu et al. (2019), Betancourt (2019), Llanos-Mayor et al. (2019), Molina-Quesada et al. (2019), Piananurak (2019).
Formato/tamanho/ projeção de copa	Jayawardana e Amarasekera (2009), Lwin et al. (2010), Espitia et al. (2011), Miranda (2013), Moya et al. (2013), Sadono (2014, 2019), Sadono et al. (2014), Shwe et al. (2015), Llanos-Mayor et al. (2019).
Folhas (diversos caracteres avaliados)	Kanchanaburangura (1976), Bagchi et al. (1989), Rawat et al. (1998), Jayasankar et al. (1999), Chacko et al. (2000), Hedge et al. (2004), Gunaga et al. (2013), Miranda (2013), Vinutha e Javaregowda (2014), Avelar (2015), Lima (2015), Lyngdoh e Vasudeva (2015), Shwe et al. (2015), Siqueira (2015), Alcântara et al. (2016), Patil et al. (2016), Chimello et al. (2017), Jibkate et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Medina (2018), Modi et al. (2018), Reategui et al. (2018), Betancourt (2019), Prasetyawati e A'ida (2019).

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Caráter	Referências
Fuste e copa	
Persistência do eixo/caule[3]	Kjaer et al. (1999, 2008), Medina (2018), Adu-Bredu et al. (2019), Piananurak (2019).
Brotação das folhas ou persistência das folhas na estação de desfolha	Lwin et al. (2010), Roychoudhury et al. (2020b).
Protuberâncias no caule[4]	Kjaer et al. (1999, 2008), Adu-Bredu et al. (2019).
Ramos/galhos	Kjaer et al. (1999, 2008), Lwin et al. (2010), Chaix et al. (2011), Espitia et al. (2011), Murillo et al. (2013), Sreekanth et al. (2014), Patil et al. (2016), Giustina et al. (2017), Ayate e Ujjainkar (2018), Medina (2018), Betancourt (2019), Llanos-Mayor et al. (2019), Piananurak (2019).
Relação entre altura de copa e altura do fuste	Lwin et al. (2010).
Tecnologia da madeira	
Alburno, cerne e, ou medula	Kjaer et al. (1999), Jayawardana e Amarasekera (2009), Narayanan et al. (2009), Puspitasari et al. (2010), Naranjo et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Hernández (2013), Moya et al. (2013, 2014), Hounlonon et al. (2017), Segura (2017), Silva et al. (2017), Damayanti et al. (2019).
Anéis de crescimento	Jaijing (1994), Jayawardana e Amarasekera (2009), Nocetti et al. (2011), Shukla et al. (2011).
Densidade básica	Indira e Bhat (1998), Jayawardana e Amarasekera (2009), Narayanan et al. (2009), Puspitasari et al. (2010), Shukla et al. (2011), Naranjo et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Hernández (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013), Hidayati et al. (2014), Kokutse et al. (2016), Hounlonon et al. (2017), Monteuuis e Goh (2018), Damayanti et al. (2019).
Compressão paralela	Puspitasari et al. (2010), Hidayati et al. (2014).
Conteúdo de celulose, extrativos e lignina	Puspitasari et al. (2010).
Contração tangencial, radial e volumétrica	Puspitasari et al. (2010), Naranjo et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012), Hernández (2013), Moya et al. (2013), Kokutse et al. (2016), Monteuuis e Goh (2018), Damayanti et al. (2019).
Cor da madeira	Jayawardana e Amarasekera (2009), Moya e Berrocal (2010), Puspitasari et al. (2010), Moya e Marin (2011), Moya e Calvo-Alvarado (2012), Hernández (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013), Kokutse et al. (2016), Segura (2017), Damayanti et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Caráter	Referências
Tecnologia da madeira	
Cor, espessura e, ou percentagem de casca	Kjaer et al. (1999, 2008), Thulasidas et al. (2006), Narayanan et al. (2009), Miranda (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013), Sanquetta et al. (2014), Sreekanth et al. (2014), Hounlonon et al. (2017), Mata (2018).
Módulo de elasticidade e, ou de ruptura	Puspitasari et al. (2010), Naranjo et al. (2012), Kokutse et al. (2016), Hounlonon et al. (2017), Monteuuis e Goh (2018), Damayanti et al. (2019).
Ângulo e morfologia das fibras	Shukla et al. (2011), Hidayati et al. (2014), Damayanti et al. (2019).
Percentagem de cálcio	Kjaer et al. (1999).
Percentagem de sílica	Kjaer et al. (1999).
Penetração do Pilodyn[5]	Kjaer et al. (1999, 2008), Hidayati et al. (2013a, 2013b).
Resistência mecânica	Moya e Marin (2011).
Tensões na madeira	Naranjo et al. (2012), Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Velocidade de onda de estresse na madeira	Hidayati et al. (2013a, 2013b).
Velocidade longitudinal de ultrassom na madeira	Solórzano-Naranjo et al. (2012), Moya et al. (2013).
Umidade	Puspitasari et al. (2010), Hernández (2013), Kokutse et al. (2016).
Tolerância/resistência a fatores bióticos e abióticos	
Suscetibilidade à inoculação por micorrizas	Verma et al. (2001).
Tolerância (resistência) às doenças	Arguedas-Gamboa et al. (2005), Kjaer et al. (2008), Miranda (2013), Moya et al. (2013), Murillo et al. (2013), Shwe et al. (2015), Jesus (2016), Medina (2018), Barceli et al. (2019), Piananurak (2019).
Tolerância (resistência) aos insetos	Ahmad (1987), Mishra (1992), Meshram et al. (1994), Roychoudhury e Joshi (1996), Jain et al. (1998, 2002), Adnan et al. (2007), Kjaer et al. (2008), Roychoudhury (2012), Murillo et al. (2013), Vinutha e Javaregowda (2014), Shwe et al. (2015), Piananurak (2019), Roychoudhury et al. (2020a, 2020b).

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Caráter	Referências
Tolerância/resistência a fatores bióticos e abióticos	
Tolerância (resistência) às plantas epífitas (Loranthus - *Dendrophthoe falcata* van pubescens)	Gunaga et al. (2011).
Tolerância aos solos ácidos[6]	Lozano (2010), Wehr et al. (2010, 2017), Murillo et al. (2013), Prehaten et al. (2018).
Tolerância aos vertissolos[7]	Molina-Quesada et al. (2019).
Tolerância à seca	Thulasidas et al. (2006), Tripathi et al. (2017), Matos et al. (2018), Damayanti et al. (2019), Galeano et al. (2019), Huang et al. (2019a).
Tolerância aos ventos	Murillo et al. (2013), Vásquez (2016).
Propagação seminal e vegetativa	
Produção de flores, frutos e, ou sementes	Keiding (1966), Gyi et al. (1984), Nagarajan e Mohanlal (1997), Diniz (1999), Sivakumar et al. (2002), Chawhaan et al. (2003), Mathew e Vasudeva (2003), Nicodemus et al. (2009), Monteuuis et al. (2011), Callister (2013), Mahmud e Hossain (2013), Kambale et al. (2015), Shwe et al. (2015), Alcântara et al. (2016), Behera e Bhol (2016), Dhaka e Jha (2017), Nayak et al. (2017), Pradhan et al. (2017), Marques et al. (2018), Modi et al. (2018), Wattanasuksakul (2019), Baskorowati et al. (2020).
Propagação vegetativa	Palanisamy et al. (2009, 2010), Llanos-Mayor et al. (2019).

[1] Brotações provenientes do estímulo de gemas dormentes na casca do tronco, dando origem a galhos que apresentam ligação deficiente com a parte central do tronco, podendo constituir em fator de risco no futuro. Essas brotações são, em geral, resultantes de respostas da planta à condição estressante ou de uma abrupta exposição à luz.

[2] Raiz tabular que cerca o tronco de algumas árvores. Consiste em uma característica que se desenvolve tipicamente com a idade da árvore, não sendo registrada sistematicamente em idades mais jovens. A presença de sapopema reduz a utilização comercial da parte inferior do fuste, sendo uma característica indesejada.

[3] Altura relativa do eixo/caule principal ininterrupto, ou seja, com ausência de quebras, sendo importante na avaliação da qualidade comercial do fuste.

[4] Cicatrizes salientes provenientes da poda natural dos galhos.

[5] Instrumento que mede a penetração de uma pequena agulha no tronco da árvore, sendo usado como medida indireta da densidade da madeira.

[6] A teca é adaptada para crescer em regiões tropicais e subtropicais, sendo considerado necessário que seu cultivo seja feito em solos férteis. Entretanto, tem sido frequentemente plantada em solos altamente lixiviados, ácidos e potencialmente tóxicos quanto à quantidade de alumínio, o que justifica a avaliação desse tipo de caráter no melhoramento genético.

[7] Os vertissolos são pouco utilizados para plantações florestais devido à sua alta porcentagem de argilas expansíveis (tipo 2:1 montmorilonítica) que produzem a formação de fissuras dinâmicas durante a estação seca.

Interação genótipos x ambientes em teca

O fenótipo de uma árvore de teca é influenciado pelo genótipo, que é a sua constituição, e pelo ambiente, que se refere a todos os demais fatores que afetam o fenótipo, exceto aqueles devido às causas genéticas, e pode também ser influenciado pela interação genótipos x ambientes (Falconer; Mackay, 1996). Nesse sentido, o ambiente pode ser um local, ano, sistema de manejo, época de plantio ou, até mesmo, a ação de todos esses fatores simultaneamente. Quando vários genótipos são comparados em vários ambientes, surge um terceiro componente do fenótipo, isto é, a interação genótipos x ambientes. Essa interação corresponde ao comportamento não coincidente dos genótipos nos vários ambientes de avaliação (Ramalho et al., 2012). Em termos genéticos, a interação ocorre quando a contribuição dos genes que controlam o caráter ou o seu nível de expressão difere entre os ambientes. Isso ocorre porque a expressão dos genes é influenciada e, ou regulada pelo ambiente (Kang, 1998).

Neste contexto, foram encontrados alguns relatos sobre a avaliação da interação genótipos x ambientes para diversos caracteres em experimentos com teca. No que se refere aos caracteres de crescimento, de fuste e de copa foram encontrados os trabalhos conduzidos por Indira e Bhat (1998), Wardani (2008), Lwin et al. (2010), Goh et al. (2013), Hidayati et al. (2013a, 2013b), Vásquez (2016), Segura (2017), Prehaten et al. (2018), Huang et al. (2019b), Murillo et al. (2019) e Mulyadiana et al. (2020) e, para propriedades tecnológicas da madeira, há relatos de Kjaer et al. (1999), Bhat e Priya (2004), Goh et al. (2007), Moya e Marin (2011), Solorzano-Naranjo et al. (2012), Hidayati et al. (2013a, 2013b) e Moya et al. (2013).

Em um desses trabalhos, dez diferentes procedências de teca (Pyinmana, Kalay, Bago, Phyu, Mudon, Padaung, Moemeik, Saw, Moehnyin e Mabein) foram avaliadas em quatro ambientes na região de Bago Yoma, Mianmar (Lwin et al., 2010). As sementes utilizadas foram coletadas de forma a englobar toda a área de ocorrência natural da teca em Mianmar. Os quatro locais experimentais, Phyu, Oak-Twin, Paungte e Pauk-Kaung, divergiram não somente em latitude e longitude, mas também em valores de temperaturas médias anuais: 26,0 °C, 26,9 °C, 27,6 °C e 28,2 °C e em precipitações pluviométricas médias: 3.071 mm ano^{-1}, 1.929 mm ano^{-1}, 1.184 mm ano^{-1} e 1.261 mm ano^{-1}, respectivamente. Aos sete anos de idade, foram mensurados em todos os experimentos: altura, DAP, volume de madeira, relação entre a altura de copa e de fuste, número de ramos por metro de tronco, diâmetro da copa, ângulo médio de inserção dos ramos inferiores e percentagem de folhas que permanecem na

árvore durante a época de queda das folhas. Houve efeitos significativos de procedências, de ambientes e, também, de interação procedências x ambientes para todos os caracteres avaliados. As análises de regressão entre os caracteres e os fatores geoclimáticos indicaram a existência de variação ecoclinal em teca. A altitude foi negativamente e significativamente correlacionada com a altura (-0,65) e volume (-0,64). Positivas e significativas correlações foram encontradas entre longitude e os caracteres: relação entre altura de copa e de fuste (+0,72), diâmetro de copa (+0,72), ângulo médio de inserção de ramos (+0,70) e persistência das folhas (+0,72). Não houve correlação significativa entre a temperatura média e qualquer outro caráter avaliado neste estudo. Adicionalmente, a precipitação pluviométrica média anual foi altamente correlacionada e, de forma positiva, com: DAP (+0,73), altura (+0,70), volume (+0,80) e diâmetro de copa (+0,67). Correlações negativas foram observadas entre a distância geográfica e os caracteres: DAP (-0,68), altura (-0,78) e volume (-0,68). As avaliações comparativas mostraram que as procedências locais foram, em geral, melhores e podem ser usadas como fontes de sementes mais adequadas para programas de plantios na região de Bago Yoma, Mianmar.

Em outra oportunidade, testes com 28 progênies de polinização aberta de teca foram avaliados em quatro diferentes sítios na Costa Rica, aos sete anos de idade, pela Cooperativa Genfores (Murillo et al., 2019). O sítio 1 (Hojancha) tem altitude de 120 m, 5-6 meses de estação seca, precipitação pluviométrica média de 2.200 mm ano^{-1}, topografia com 5-20% de declividade, solo do tipo Alfissolo, anteriormente usado como pasto. O sítio 2 (Jicaral) tem altitude de 20 m, 4-6 meses de estação seca, precipitação pluviométrica de 2.500 mm ano^{-1}, 5% de declividade, Alfissolo, anteriormente usado nas culturas do milho e do arroz. O sítio 3 (Santa Cruz) tem altitude de 50 m, seis meses de estação de seca, precipitação pluviométrica de 2.400 mm ano^{-1}, 2% de declividade e pobre em drenagem, solo do tipo Vertissolo, anteriormente usado como pasto. O sítio 4 (San Mateo) tem altitude de 200 m, 5-6 meses de estação seca, precipitação pluviométrica de 2.200 mm ano^{-1}, 5% de declividade, Alfissolo e usado anteriormente para cultivo de frutíferas. Houve efeitos significativos de progênies e, também, de interação progênies x ambientes para DAP. Como a correlação genotípica dos desempenhos das progênies entre os quatro ambientes foi alta, há indicativo de que a interação é de natureza simples. Assim, a situação é muito favorável para o melhoramento da teca. Como o sítio 1 apresentou altas estimativas de correlações com todos os demais sítios dois a dois (inclusive com o sítio 3 que foi o menos produtivo), Hojancha pôde ser escolhido como sítio ideal para a condução dos ensaios componentes do programa de melhoramento de teca em questão, visando à seleção de genótipos para atender a todos esses sítios de plantio. Houve boa coincidência entre as dez

melhores progênies classificadas em cada um dos locais e na conjunta de locais, tendo sido comprovadas que elas têm estabilidade e adaptabilidade. Após a otimização da seleção, com a restrição na endogamia e no tamanho efetivo populacional, realizada pelo software Selegen REML/BLUP, os 20 melhores indivíduos selecionados, com base na conjunta de locais, para estabelecimento de um pomar de sementes, proporcionou um ganho de 11% para DAP. Esses 20 indivíduos selecionados estão associados a um tamanho efetivo ou genético de população igual a 17, em razão de vários desses indivíduos serem meios irmãos (pertencerem a mesma progênie) e com coeficiente de endogamia de 2,9%. Os valores das herdabilidades encontrados neste estudo são apresentados na Tabela 4 em item que trata do controle genético de caracteres de importância econômica em teca.

Clones de teca, selecionados em pomar de sementes em Cepu, Ilha de Java na Indonésia, foram avaliados em dois testes estabelecidos com 65 clones, em Cepu, Java Central (solo de origem calcária, Vertissolo e 1.436 mm ano^{-1}) e com 50 clones, em Ciamis, Java Oeste (solo de origem vulcânica, Latossolo/Inceptissolo e 2.740 mm ano^{-1}) (Wardani, 2008). Houve efeitos significativos de clones e de locais para altura, DAP e forma do fuste. As herdabilidades podem ser observadas na Tabela 5. As interações clones x ambientes foram significativas para altura e forma do fuste. Os sete melhores clones, com base em índice de seleção, foram 97, 110, 20, 91, 7, 59 e 84 em Cepu e 97, 17, 20, 63, 96, 10 e 34 em Ciamis. Na análise conjunta de ambientes, os melhores clones ranqueados foram: 97, 20, 7, 17, 96, 63 e 10. Os ganhos genéticos estimados foram de 13,27% em Cepu, 13,51% em Ciamis e 13,82% em ambos os locais.

Em Kerala, Índia, 18 clones de teca foram avaliados, aos 14 anos de idade, em dois ambientes denominados Arippa e Palapilly (Indira; Bhat, 1998). Houve efeitos significativos de clones e de ambientes na avaliação da densidade básica, mas não houve efeito significativo da interação clones x ambientes. As análises das propriedades do solo revelaram que Arippa, ambiente que obteve as menores médias de densidade básica (0,51 g cm^{-3}), possuía solo com mais carbono orgânico (2,13%), pH (6,02) e bases trocáveis (13,14 me 100 g^{-1}), os quais são fatores que melhoram o crescimento da teca. Os valores de carbono orgânico, pH e bases trocáveis em Palappilly, ambiente com maiores médias de densidade média em teca (0,57 g cm^{-3}), foram 1,1%, 5,66 e 6,1 me 100 g^{-1}, respectivamente. Não houve efeito de origem de clone para densidade básica. Portanto, a adequada seleção de clones e de solos deve ser vista com cuidado durante a escolha de áreas para o estabelecimento de plantações de teca. A exploração da variação presente de árvore para árvore também poderá melhorar a densidade da madeira em teca.

Dois testes clonais foram estabelecidos em diferentes ambientes na região noroeste da Costa Rica, sendo um deles na Península de Nicoya (local 1) e outro perto da fronteira com a Nicarágua (local 2) (Moya; Marin, 2011). O local 1 tem precipitação pluviométrica média de 1.594 mm ano^{-1}, temperatura média anual de 26 °C e uma estação seca anual de quatro meses sem chuva. O solo tem textura argilosa, sendo moderadamente ácido a neutro (pH 6-7) e declividade inferior a 3%. Esse solo é moderadamente fértil, com baixo teor de matéria orgânica. O local 2 possui precipitação pluviométrica média de 1.745 mm ano^{-1}, temperatura média de 27 °C e estação seca de cinco meses. O solo tem uma textura franco-argilosa, é moderadamente ácido (pH 5-6) e declividade inferior a 3%. Este solo é moderadamente fértil, com conteúdo moderado de matéria orgânica. As avaliações foram conduzidas aos dez anos de idade, sendo mensurados: DAP, percentagem do cerne, percentagem da casca, percentagem da medula, umidade inicial na madeira, densidade da madeira verde, gravidade específica, contração volumétrica, radial (R) e tangencial (T), razão T/R, três coordenadas de cor da madeira (L*, a* e b*), rigidez da madeira, perda de peso com o fungo *Trametes versicolor* em cerne, perda de peso com fungo *Pycnoporus sanguineus* em cerne, perda de peso com fungo *Trametes versicolor* no alburno e perda de peso com fungo *Pycnoporus sanguineus* em alburno. Houve efeitos significativos de clones para a maioria dos caracteres, exceto para percentagem de cerne, razão T/R, perdas de pesos com dois fungos, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*, em cerne e em alburno. Houve efeitos significativos de locais, exceto DAP e percentagem de cerne. As interações clones x locais foram significativas somente para: percentagem de cerne, gravidade específica, densidade de massa verde, contração volumétrica, contração tangencial e rigidez da madeira. As herdabilidades e as correlações genéticas obtidas neste trabalho podem ser observadas nas Tabelas 5 e 7, respectivamente. Os autores ressaltam a necessidade de que outros trabalhos similares sejam realizados no intuito de aferir tais resultados. O agrupamento dos clones, de acordo com as características avaliadas, permitirá escolher ou usar clones com propriedades de madeira semelhantes, de acordo com o local e com as condições ambientais, aumentando a produção de madeira por área e uniformidade da qualidade da madeira oferecida ao mercado.

Outros dois testes, com 36 clones de teca, foram avaliados na região norte da Costa Rica por Solorzano-Naranjo et al. (2012). Um dos testes está situado no distrito de Los Chiles, no vilarejo de Combate, caracterizado pela ausência de estação de seca bem definida, solo do tipo Ultissolo, com horizonte argílico e moderada à alta acidez, com uma saturação ácida superior a 30%, declividade do terreno inferior a 3%, com superfície regular e sem erosão. O segundo experimento está localizado no distrito de Pocosil, no vilarejo de San Cristobal,

com ausência de estação de seca definida, Ultissolo, com horizonte argílico, variando levemente de ácido a neutro. A topografia é irregular, com declividade variando de 15-30%. Ambos os locais têm precipitação pluviométrica média anual de 2.592,5 mm ano^{-1} e temperatura média anual de 25,3 °C. Aos quatro anos de idade, foram mensurados: DAP, percentagem do cerne, diâmetro da segunda tora, altura da árvore, gravidade específica, contração radial, contração tangencial, contração volumétrica, tensão de crescimento, módulo de elasticidade dinâmico transversal em árvore em pé, módulo de elasticidade dinâmico longitudinal em árvore em pé, módulo de elasticidade dinâmico na tora, módulo de elasticidade dinâmico em madeira verde e módulo de elasticidade dinâmico em madeira seca. Efeitos significativos de clones foram constatados para a maioria dos caracteres, exceto percentagem de cerne, gravidade específica, contração tangencial, tensão de crescimento, módulo de elasticidade dinâmico longitudinal em árvore em pé e módulo de elasticidade dinâmico na tora. Houve efeitos significativos de sítios para a maioria dos caracteres, exceto para contração radial, contração tangencial e tensão de crescimento. Os efeitos de interação clones x sítios somente foram significativos para altura, tensão de crescimento e módulo de elasticidade dinâmico em madeira verde. As herdabilidades e as correlações genotípicas para esses caracteres podem ser observadas nas Tabelas 5 e 7.

No norte da Costa Rica, foram também avaliados dois outros testes clonais nas localidades de Garza e de Peñas Blancas (Moya et al., 2013). O sítio de Garza tem precipitação pluviométrica média de 1.594 mm ano^{-1}, temperatura média anual de 26 °C e quatro meses de estação seca. O solo é argiloso, moderadamente fértil e com pH de ácido a neutro (pH 6-7), mas com baixo teor de matéria orgânica, com declividade inferior a 3%. O sítio de Peñas Blancas tem precipitação pluviométrica de 1.745 mm ano^{-1}, temperatura média de 27 °C e cinco meses de estação seca. O solo tem textura argilosa a franco-argilosa, sendo moderado quanto à acidez (pH 5-6), à fertilidade e ao conteúdo de matéria orgânica, com declividade inferior a 3%. As avaliações foram conduzidas aos dez anos de idade, sendo mesurados: DAP, percentagem de cerne, percentagem de casca, percentagem de medula, umidade inicial na madeira, densidade madeira verde, gravidade específica, contração volumétrica, radial (R) e tangencial (T), razão T/R, três coordenadas de cor da madeira (L*, a* e b*), rigidez da madeira, perda de peso com o fungo *Trametes versicolor* em cerne, perda de peso com fungo *Pycnoporus sanguineus* em cerne, perda de peso com fungo *Trametes versicolor* no alburno e perda de peso com fungo *Pycnoporus sanguineus* em alburno. Os efeitos de clones foram significativos para a maioria dos caracteres, exceto percentagem de cerne, razão T/R, perda de peso com os fungos *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em cerne e perdas de pesos com os fungos *Trametes versicolor* e

Pycnoporus sanguineus em alburno. Houve efeitos significativos de sítios para a maioria dos caracteres, exceto DAP e percentagem de cerne. Os efeitos das interações clones x sítios não foram significativas para a maioria dos caracteres, exceto percentagem de cerne, densidade massa verde, gravidade específica, contração volumétrica, contração tangencial e rigidez. As herdabilidades e as correlações genotípicas para essas características podem ser observadas nas Tabelas 5 e 7.

Por meio desses trabalhos, observa-se que a interação genótipos x ambientes tem um importante papel no contexto do melhoramento genético da teca, pois implica na identificação de cultivares específicas aos ambientes de cultivo ou, então, que possuam maior adaptabilidade e estabilidade possível. Desse modo, sabendo que a seleção, na maioria das vezes, é realizada com base no valor fenotípico e que a interação o afeta diretamente, percebe-se que ela tem reflexo imediato nos trabalhos dos melhoristas de teca e, consequentemente, na recomendação de genótipos superiores, sendo, portanto, necessária à sua detecção.

Controle genético de caracteres em teca

A obtenção dos coeficientes de herdabilidade é de grande utilidade nos programas de melhoramento genético, pois fornece informações sobre o controle genético de cada caráter avaliado e, consequentemente, prenuncia o grau de sucesso ou de insucesso da seleção. Assim, na análise dos trabalhos publicados com a teca, foi possível a prospecção de valores de herdabilidade para diferentes: tipos de populações (progênies e clones), número de tratamentos, caracteres, idades de avaliação e condições ambientais nos diferentes locais de vários países (Tabelas 4 e 5).

Em decorrência desses aspectos, as magnitudes das herdabilidades encontradas para teca, seja em nível de progênies ou de clones (Tabelas 4 e 5), foram bastante variáveis dentro e entre os caracteres avaliados. De modo geral, o valor da herdabilidade pode variar de 0 (quando a variação entre indivíduos é unicamente de natureza ambiental) a 1 (quando toda a variação expressa entre indivíduos é de natureza genética), sendo classificadas como baixas (0,01 a < 0,15), moderadas (0,15 a ≤0,50) ou altas (>0,50) (Resende, 2002). Obviamente, quanto maior a herdabilidade, maior o sucesso a ser obtido no processo seletivo.

A herdabilidade no sentido restrito é a proporção da variância fenotípica que é devida a variância genética aditiva, ou seja, aquela que realmente é transmitida do genitor para

a progênie, sendo muito útil na seleção recorrente (Falconer; Mackay, 1996; Ramalho et al., 2012). Nos trabalhos prospectados, foram observados valores de herdabilidades para progênies de polinização aberta de teca (Tabela 4), não sendo encontradas publicações com valores de herdabilidades em progênies de irmãos completos, mesmo havendo relato de protocolo de polinização controlada de teca publicado desde 1997 (Tangmitcharoen, 1997). A herdabilidade no sentido amplo tem utilidade prática na seleção clonal (Tabela 5), justamente por considerar os efeitos da variância genética total, incluindo assim os efeitos de aditividade, de dominância e, inclusive de epistasia, caso houver (Ramalho et al., 2012).

Conforme já esperado, para cada experimento e caráter avaliado, os valores das herdabilidades na média de progênies ou na média de clones são superiores aos valores de herdabilidade, em nível de indivíduos. Isso porque a seleção baseada em médias está em um nível mais elevado de precisão do que a seleção baseada em parcelas ou plantas individuais, devido à diminuição da influência dos erros experimentais no uso das médias, ao invés de indivíduos, como critério de seleção (Vencovsky; Barriga, 1992).

Para se obter sucesso no programa de melhoramento, conforme já ressaltado, deve ocorrer, obrigatoriamente, variação para o caráter de interesse, avaliado na população onde se pratica a seleção, de modo que apareçam diferenças significativas entre os indivíduos envolvidos e que os melhores sejam selecionados. Essas variações existentes, detectadas nos trabalhos com teca, explicam os ganhos de seleção relevantes que vêm sendo obtidos com o melhoramento da teca em várias partes do mundo (Tabela 4).

Na Índia, estima-se que a produtividade de madeira possa aumentar entre 2-4 vezes, a partir do uso de clones elites selecionados pelo programa de melhoramento de teca indiano em relação aos materiais seminais atualmente plantados (Kumar, 2019). No Brasil, foi observado um incremento médio de 50% em produtividade de madeira, com uso de clones elites quando comparados com a média da população seminal testemunha, sendo esses clones selecionados, via seleção massal, em plantios comerciais seminais no Brasil e em populações naturais ou plantios seminais em outros países (Proteca, 2021). Ganhos em forma do fuste também têm sido observadas no Brasil (Proteca, 2021). Após essa etapa, em novos ciclos seletivos, os ganhos para caracteres quantitativos são menores e alcançados por meio de um programa de melhoramento baseado na seleção recorrente.

Tabela 4. Herdabilidades no sentido restrito e ganhos de seleção, para diferentes caracteres, avaliados em testes de progênies de polinização aberta de teca, avaliados em diferentes condições ambientais, idades e países.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herda-bilida-de	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
Altura	Individual	Cachoeiro do Itapemirim, Espírito Santo, Brasil	0,25	0,05 (0,26)*	-	-	Costa et al. (2015).
Altura	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	1,2	0,35	-	-	Chaix et al. (2011).
Altura	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	2,0	0,55	-	-	Chaix et al. (2011).
Altura	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,58 (0,76)	10	34,46 (19,66)	Swain et al. (1996).
Altura	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,22	-	-	Callister e Collins (2008).
Altura	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,01 (0,06)	30	(0,00)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Altura	Individual	Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonésia	<6,0	0,02 (0,22)	-	-	Salis (2013).
Altura	Individual	Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonésia	6,0	0,07 (0,33)	-	-	Salis (2013).
Altura	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	7,0	0,22 (0,77)	10	6,38 (6,30)	Sharma et al. (2000).
Altura	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,61 (0,81)	10	16,23 (7,06)	Swain et al. (1999).
Altura	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,38 (0,79)	10	9,66 (7,06)	Swain et al. (1999).
Altura	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	8,6	0,76	-	-	Chaix et al. (2011).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herda-bilida-de	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
Altura	Individual	Sabah, Leste da Malásia	8,8	0,51*	-	-	Monteuuis et al. (2011).
Altura	Conjunta (2 ambien-tes)	Sabah, Leste da Malásia	9,0	(0,38)*	-	-	Goh et al. (2013).
Altura	Individual	Hojancha, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,28 (0,60)	-	-	Loría (2018).
Altura	Individual	Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,00 (0,24)	-	-	Loría (2018).
Altura	Individual	San Mateo, Alajuela, Costa Rica	11,0	0,16 (0,47)	-	-	Loría (2018).
Altura	Individual	Yogyakarta, Indonésia	24,0	(0,27)	-	-	Hidayati et al. (2013a).
Altura	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,34 (0,34)	-	8,20	Narayanan et al. (2009).
Ângulo de inserção dos galhos	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,12 (0,44)	30	(4,26)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área basal	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,26 (0,53)	10	4,19 (3,03)	Swain et al. (1996).
Área basal	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	7,0	0,14 (0,69)	10	8,66 (9,57)	Sharma et al. (2000).
Área basal	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,77 (0,80)	10	25,02 (12,76)	Swain et al. (1999).
Área basal	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,27 (0,59)	10	12,23 (8,80)	Swain et al. (1999).
Área de proje-ção de copa	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,12 (0,44)	30	(6,53)	Llanos-Mayor et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herda-bilida-de	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
Bifurca-ção	Individual	Sabah, Leste da Malásia	8,8	0,56	-	-	Monteuuis et al. (2011).
CAP	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,19 (0,31)	-	7,19	Narayanan et al. (2009).
DAP	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	1,2	0,41	-	-	Chaix et al. (2011).
DAP	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	2,0	0,44	-	-	Chaix et al. (2011).
DAP	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,26 (0,64)	10	20,97 (16,52)	Swain et al. (1996).
DAP	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,31	-	-	Callister e Collins (2008).
DAP	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,17 (0,55)	30	(2,96)	Llanos-Mayor et al. (2019).
DAP	Individual	Ciamis, West Java, Indonésia	5,0	0,09	-	-	Hadiyan (2009).
DAP	Individual	Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonésia	<6,0	0,06 (0,20)	-	-	Salis (2013).
DAP	Individual	Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonésia	6,0	0,12 (0,33)	-	-	Salis (2013).
DAP	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	7,0	0,11 (0,64)	10	3,42 (4,11)	Sharma et al. (2000).
DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,72 (0,80)	10	11,91 (6,30)	Swain (1999).
DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,28 (0,60)	10	6,38 (8,80)	Swain (1999).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herda-bilida-de	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
DAP	Individual	Taliwas, Sabah, Leste da Malásia	8,6	0,46			Chaix et al. (2011).
DAP	Individual	Sabah, Leste da Malásia	8,8	0,24	-	-	Monteuuis et al. (2011).
DAP	Conjunta (2 ambien-tes)	Sabah, Leste da Malásia	9,0	(0,17)	-	-	Goh et al. (2013).
DAP	Individual	Hojancha, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,49 (0,70)	-	-	Loría (2018).
DAP	Individual	Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,23 (0,59)	-	-	Loría (2018).
DAP	Individual	San Mateo, Alajuela, Costa Rica	11,0	0,28 (0,64)	-	-	Loría (2018).
DAP	Individual	Yogyakarta, Indonésia	24,0	(0,27)	-	-	Hidayati et al. (2013a).
DAP	Individual	Hojancha, Costa Rica	7,0	0,39 (0,66)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Individual	Santa Cruz, Costa Rica	7,0	0,38 (0,64)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Individual	Jicaral, Costa Rica	7,0	0,31 (0,59)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Individual	San Mateo, Costa Rica	7,0	0,08 (0,26)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjun-ta(2 am-bientes)	Hojancha e Santa Cruz, Costa Rica	7,0	0,35 (0,73)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjunta (2 ambien-tes)	Hojancha e Jicaral, Costa Rica	7,0	0,25 (0,62)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjunta (2 ambien-tes)	Hojancha e San Mateo, Costa Rica	7,0	0,26 (0,71)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjunta (2 ambien-tes)	Jicaral e Santa Cruz, Costa Rica	7,0	0,18 (0,48)	-	-	Murillo et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herdabilidade	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Santa Cruz e San Mateo, Costa Rica	7,0	0,11 (0,35)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Jicaral e San Mateo, Costa Rica	7,0	0,17 (0,53)	-	-	Murillo et al. (2019).
DAP	Conjunta (4 ambientes)	Hojancha, Jicaral, Santa Cruz e San Mateo, Costa Rica	7,0	0,22 (0,74)	-	18,06 (11,60)	Murillo et al. (2019).
Diâmetro do coleto	Individual	Cachoeiro do Itapemirim, Espírito Santo, Brasil	0,3	0,13 (0,49)	-	-	Costa et al. (2015).
Densidade básica	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,29 (0,41)	-	3,13	Narayanan et al. (2009).
Diâmetro dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,03 (0,15)	30	(0,00)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Forma do fuste	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,07) 0,15	-	-	Callister e Collins (2008).
IMA em volume de madeira	Individual	Ciamis, Oeste de Java, Indonésia	5,0	0,10	-	-	Hadiyan (2009).
Incidência de florescimento	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,30) 0,05	-	-	Callister e Collins (2008).
Número de brotações na base	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,10 (0,40)	30	(14,42)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Número de lançamentos foliares	Individual	Cachoeiro do Itapemirim, Espírito Santo, Brasil	0,3	0,09 (0,38)	-	-	Costa et al. (2015).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herdabilidade	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
Penetração do pilodyn	Individual	Yogyakarta, Indonésia	24,0	(0,23)	-	-	Hidayati et al. (2013a).
Percentagem de alburno	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,76 (0,70)	-	26,15	Narayanan et al. (2009).
Percentagem de cerne	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,76 (0,69)	-	17,02	Narayanan et al. (2009).
Qualidade das toras	Individual	Hojancha, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,00 (0,31)	-	-	Loría (2018).
Qualidade das toras	Individual	Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,00 (0,00)	-	-	Loría (2018).
Qualidade das toras	Individual	San Mateo, Alajuela, Costa Rica	11,0	0,12 (0,42)	-	-	Loría (2018).
Retidão do fuste	Individual	Armero--Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,00 (0,02)	30	(0,00)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Velocidade de onda de estresse na madeira	Individual	Yogyakarta, Indonésia	24,0	(0,24)	-	-	Hidayati et al. (2013a).
Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,18) 0,29	-	-	Callister e Collins (2008).
Volume de madeira	Individual	Ciamis, Oeste de Java, Indonésia	5,0	0,10	-	-	Hadiyan (2009).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local	Idade (anos)	Herdabilidade	Intensidade de seleção (%)	Ganho de seleção (%)	Referência
Volume de madeira	Individual	Sabah, Leste da Malásia	8,8	0,34	-	-	Monteuuis et al. (2011).
Volume de madeira	Conjunta (2 ambientes)	Sabah, Leste da Malásia	9,0	(0,23)	-	-	Goh et al. (2013).
Volume de madeira	Individual	Hojancha, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,39 (0,65)	-	-	Loría (2018).
Volume de madeira	Individual	Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica	11,0	0,17 (0,55)	-	-	Loría (2018).
Volume de madeira	Individual	San Mateo, Alajuela, Costa Rica	11,0	0,27 (0,62)	-	-	Loría (2018).
Volume de madeira	Individual	Yogyakarta, Indonésia	24,0	(0,20)	-	-	Hidayati et al. (2013a).
Volume de madeira do fuste sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,15 (0,51)	30	(4,83)	Llanos-Mayor et al. (2019).
Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Tolima, Colômbia	4,3	0,34 (0,71)	30	(11,98)	Llanos-Mayor et al. (2019).

*Números fora de parênteses se referem a valores em nível de indivíduos e números dentro de parênteses se referem a valores em nível de média de progênies.

Tabela 5. Herdabilidades no sentido amplo na média de clones, para diferentes caracteres, obtidas em testes clonais de teca avaliados em diferentes condições ambientais, idades e países.

Caráter	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Herdabilidade no sentido amplo	Referência
Altura	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,17 (0,80)*	Molina-Quesada et al. (2019).
Altura	Individual	-	3,5	(0,85)	Gera et al. (2001).
Altura	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,03 (0,16)	Sofyan et al. (2011).
Altura	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,28)	Callister e Collins (2008).
Altura	Individual	Yogyakarta, Indonésia	3,5	(0,47)	Nurrudin (2013).
Altura	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,15)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Altura	Individual	Lan Sang, Tak Province, Tailândia	5,0	(0,19)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Individual	Mae Gar, Chiang Rai Province, Tailândia	5,0	(0,19)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Conjunta (2 ambientes)	Mae Gar e Lang Sang, Tailândia	5,0	(0,23)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Individual	Sul de Sumatra, Indonésia	5,5	0,06 (0,33)	Muslimin et al. (2013).
Altura	Individual	Lan Sang, Tak Province, Tailândia	8,0	(0,04)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Individual	Mae Gar, Chiang Rai Province, Tailândia	8,0	(0,29)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Conjunta (2 ambientes)	Mae Gar e Lang Sang, Tailândia	8,0	(0,23)	Suksileung et al. (1975).
Altura	Individual	Cepu, Java Central, Indonésia	9,0	(0,55)	Wardani (2008).
Altura	Individual	Ciamis, Oeste de Java, Indonésia	9,0	(0,52)	Wardani (2008).
Altura	Conjunta (2 ambientes)	Cepu e Ciamis, Java, Indonésia	9,0	(0,58)	Wardani (2008).

Continua . . .

Tabela 5. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Herdabilidade no sentido amplo	Referência
Brotações epicórmicas	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,12)	Callister e Collins (2008).
DAP	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,02 (0,13)	Sofyan et al. (2011).
DAP	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,37)	Callister e Collins (2008).
DAP	Individual	Yogyakarta, Indonésia	3,5	(0,51)	Nurrudin (2013).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	-	4,0	(0,36)	Solorzano-Naranjo et al. (2012).
DAP	Individual	Sul de Sumatra, Indonésia	5,5	0,05 (0,26)	Muslimin et al. (2013).
DAP	Individual	Mae Gar, Chiang Rai Province, Tailândia	8,0	(0,17)	Suksileung et al. (1975).
DAP	Individual	Lan Sang, Tak Province, Tailândia	8,0	(0,14)	Suksileung et al. (1975).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Mae Gar e Lang Sang, Tailândia	8,0	(0,15)	Suksileung et al. (1975).
DAP	Individual	Cepu, Central Java, Indonésia	9,0	(0,65)	Wardani (2008).
DAP	Individual	Ciamis, West Java, Indonésia	9,0	(0,68)	Wardani (2008).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Cepu e Ciamis, Java, Indonésia	9,0	(0,79)	Wardani (2008).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Garza e Peñas Blancas, Costa Rica	10,0	(0,31)	Moya et al. (2013).
DAP	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,36)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Diâmetro da segunda tora	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,53)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Diâmetro do coleto	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,23 (0,83)	Molina-Quesada et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 5. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Herdabilidade no sentido amplo	Referência
Contração radial	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,47)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Contração volumétrica	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,44)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Coordenada L* (cor da madeira pelo Sistema CIElab)	Conjunta (2 ambientes)	Região noroeste da Costa Rica	10,0	(0,45)	Moya e Marin (2011).
Coordenada a* (cor da madeira pelo Sistema CIElab)	Conjunta (2 ambientes)	Região noroeste da Costa Rica	10,0	(0,36)	Moya e Marin (2011).
Coordenada b* (cor da madeira pelo Sistema CIElab)	Conjunta (2 ambientes)	Região noroeste da Costa Rica	10,0	(0,36)	Moya e Marin (2011).
Resistência mecânica por rigidez dinâmica	Conjunta (2 ambientes)	Região noroeste da Costa Rica	10,0	(0,34)	Moya e Marin (2011).
Desfolhamento por insetos	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,06)	Callister e Collins (2008).
Diâmetro do coleto	Individual	-	3,5	(0,74)	Gera et al. (2001).
Forma do fuste	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,12	Callister e Collins (2008).
Forma do fuste	Individual	Cepu, Java Central, Indonésia	9,0	(0,61)	Wardani (2008).
Forma do fuste	Individual	Ciamis, Oeste de Java, Indonésia	9,0	(0,54)	Wardani (2008).

Continua . . .

Tabela 5. Continuação.

Caráter	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Herdabilidade no sentido amplo	Referência
Forma do fuste	Conjunta (2 ambientes)	Cepu e Ciamis, Java, Indonésia	9,0	(0,61)	Wardani (2008).
Forma do fuste	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,09 (0,39)	Sofyan et al. (2011).
Incidência de florescimento	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,71)	Callister e Collins (2008).
Módulo de elasticidade dinâmico transversal em árvore em pé	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,21)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Módulo de elasticidade dinâmico em madeira verde	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,26)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Módulo de elasticidade dinâmico em madeira seca.	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	(0,15)	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Sobrevivência	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,12 (0,74)	Molina-Quesada et al. (2019).
Sobrevivência	Individual	-	3,5	(0,23)	Gera et al. (2001).
Volume de madeira	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,05 (0,30)	Sofyan et al. (2011).
Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	(0,35)	Callister e Collins (2008).
Volume de madeira	Individual	Sul de Sumatra, Indonésia	5,5	0,07 (0,29)	Muslimin et al. (2013).

*Números fora de parênteses se referem a valores em nível de indivíduos e números dentro de parênteses se referem a valores em nível de média de clones.

Correlação genética entre caracteres

Uma cultivar elite de teca deve reunir o maior número possível de alelos favoráveis nos vários caracteres de importância econômica, de modo que lhe proporcionem vantagens em relação às cultivares já existentes, tanto no que se refere às exigências dos silvicultores quanto àquelas da indústria e do consumidor final da madeira. Neste contexto, a obtenção e a análise das correlações genéticas, entre os caracteres considerados no processo seletivo, são vitais na execução da seleção pautada em um conjunto de caracteres. Isso porque, na seleção simultânea de caracteres, poderá ocorrer a resposta correlacionada à seleção, ou seja, a seleção praticada em um caráter pode ocasionar alteração em um ou outros caracteres.

A magnitude dessa resposta correlacionada irá balizar a possibilidade ou não de execução da seleção indireta. Estudos neste âmbito são importantes para minimizar custos e tempo, além de serem importantes para propor uma alternativa de caráter a ser avaliado mais facilmente, como substituição a outro de difícil mensuração (Cruz; Carneiro, 2006; Resende, 2002; Bernardo, 2020).

No melhoramento genético da teca, conforme já observado nas tabelas anteriores, há relatos de caracteres avaliados simultaneamente em um mesmo teste de progênies de polinização aberta (Tabela 6) ou de clones (Tabela 7), o que permitiu a obtenção das correlações entre alguns caracteres, em diversas idades e condições ambientais em vários países.

Vale mencionar que nessa sintetização só foram considerados os valores de correlações genéticas significativos de acordo com teste estatístico. No que se refere à magnitude da correlação, segundo Devore (2018), uma regra prática razoável é considerar que a correlação é fraca se $0{,}00 \leq |r| \leq 0{,}50$; moderada, $0{,}51 \leq |r| \leq 0{,}79$ e forte se $0{,}80 \leq |r| \leq 1{,}00$. Esse autor relata que talvez surpreenda o fato que $r = 0{,}50$ seja considerada fraca, mas um $r^2 = 0{,}25$ significa que, em uma regressão de y sobre x, apenas 25% da variação observada seria explicada pelo modelo. Observa-se que, para um mesmo par de caracteres em teca, como exemplo, altura e DAP, área basal e DAP e, também, DAP e volume de madeira, as magnitudes das correlações tendem a prevalecer como moderadas ou altas na avaliação de diferentes progênies, clones, locais e idades (Tabelas 6 e 7), de acordo com a classificação de Devore (2018).

Os valores de correlações positivos entre pares de características de teca indicam que as duas características tendem a aumentar ou diminuir seus valores simultaneamente. Esse parece o caso, por exemplo, das correlações entre altura e ângulo de ramos, altura e área basal, altura e DAP, área basal e DAP, área de projeção de copa e volume, área de projeção de copa e DAP e, também, DAP e forma do fuste, dentre outros (Tabelas 6 e 7).

Os valores de correlação negativos em teca, demonstram que quando uma característica tende a aumentar de valor, a outra tende a diminuir e vice-versa. Esse exemplo é válido para a correlação entre percentagem de alburno e de cerne, sendo reconhecido esse comportamento entre o alburno e o cerne para as espécies florestais, em geral (Tabelas 6 e 7).

Em observações práticas de campo, tem sido observada uma correlação negativa entre a precocidade da frutificação/produção de sementes e o comprimento do fuste da árvore, com presença de bifurcação, o que afeta o valor comercial da árvore e, consequentemente, a qualidade do fuste na sua descendência (Keiding, 1966). Entretanto, as magnitudes de correlação encontradas entre florescimento e volume de madeira (Tabelas 6) e, também, florescimento e forma do fuste (Tabelas 7) não coadunaram com as observações práticas em campo, o que denota a necessidade de maiores investigações experimentais sobre esse aspecto. Neste contexto, há necessidade de que um maior número de trabalhos seja conduzido no intuito de melhor compreender as relações existentes entre os caracteres de importância econômica em teca e como forma de melhor conduzir o processo seletivo das árvores elites.

A partir do momento em que o melhorista de teca tem a seu dispor as informações procedentes das avaliações dos caracteres, ele tem três alternativas para conduzir a seleção simultânea de caracteres visando à escolha de uma árvore candidata a clone/cultivar: a) seleção em tandem, b) níveis independentes de eliminação e c) índice de seleção (Cotterill; Dean, 1990; Falconer; Mackay, 1996; Resende, 2002; Cruz; Carneiro, 2006; Bernardo, 2020). Esse é um aspecto importante a ser abordado em decorrência da carência de menções diretas sobre isso nos trabalhos publicados com teca.

Na seleção em tandem, selecionam-se indivíduos, por algumas gerações, para determinado caráter até atingir o nível desejado e, em gerações seguintes, para outros caracteres de interesse, dentre os descendentes dos indivíduos selecionados anteriormente (Resende, 2002). Se dois caracteres são correlacionados de maneira favorável, então, a seleção para o primeiro caráter conduz ao melhoramento do segundo. Em caso contrário, a seleção para um caráter pode causar resposta desfavorável no segundo caráter e a seleção subsequente para o segundo caráter pode desfazer alguns dos progressos já alcançados para o primeiro (Bernardo, 2020). Essa alternativa, embora inconscientemente, vem sendo utilizada, em muitas ocasiões, por exemplo, quando a seleção se concentra somente em volume de madeira inicialmente e só depois se procura agregar e selecionar para caracteres de qualidade da madeira, em ciclos de seleção seguintes.

O uso dos níveis independentes de eliminação requer o estabelecimento de um nível mínimo de desempenho para cada caráter considerado. Assim, somente os indivíduos que apresentam um padrão mínimo para cada caráter são selecionados. É importante destacar que os níveis de eliminação entre caracteres não necessitam apresentar a mesma intensidade de seleção. É esperado que a seleção com base em níveis independentes de eliminação seja mais efetiva do que a seleção em tandem. Do ponto de vista prático, uma limitação dos níveis independentes de eliminação é que o procedimento, se estritamente aplicado, não conduz à seleção de um indivíduo que está abaixo do padrão para um único caráter, mas que é excepcional para outros (Bernardo, 2020). Esse tipo de seleção também tem sido consciente ou inconscientemente empregado, pois, entre os clones mais produtivos são escolhidos, para propagação comercial, aqueles que atinjam taxas de brotação e de enraizamento mínimas, por exemplo.

A terceira categoria, denominada de índice de seleção, considera, simultaneamente, todos os caracteres de interesse, gerando uma variável adicional que resulta da ponderação dos caracteres, por meio de coeficientes pré-estabelecidos (Resende, 2002; Cruz; Carneiro, 2006; Bernardo, 2020). Neste caso, há várias alternativas de índices de seleção que podem ser aplicados no melhoramento com base na seleção simultânea de caracteres em teca (Resende, 2002; Cruz; Carneiro, 2006; Bernardo, 2020).

Tabela 6. Correlações genéticas entre caracteres, obtidas em testes de progênies de polinização aberta de teca, em diferentes condições ambientais, idades e países.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Altura - Ângulo de inserção dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,63	Llanos-Mayor et al. (2019).
Altura - Área basal	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,98	Swain et al. (1996).
Altura - Área basal	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,16	Swain (1999).
Altura - Área basal	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,02	Swain (1999).
Altura - Área de projeção da copa	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,09	Llanos-Mayor et al. (2019).
Altura - CAP*	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,61	Narayanan et al. (2009).
Altura - DAP**	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,94	Llanos-Mayor et al. (2019).
Altura - DAP	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,77	Swain et al. (1996).
Altura - DAP	Individual	Ciamis, West Java	5,0	0,84	Hadiyan (2009).
Altura - DAP	Individual	Taliwas, Sabah, East Malaysia	>6,0	0,91	Salis (2013).
Altura - DAP	Individual	Taliwas, Sabah, East Malaysia	6,0	1,00	Salis (2013).
Altura - DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,03	Swain (1999).
Altura - DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,01	Swain (1999).
Altura - Densida-de Básica	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,16	Narayanan et al. (2009).
Altura - Diâmetro dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,18	Llanos-Mayor et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Altura - Percentagem de alburno	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	-0,37	Narayanan et al. (2009).
Altura - Percentagem de cerne	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,53	Narayanan et al. (2009).
Área basal - DAP	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	2,0	0,73	Swain et al. (1996).
Área basal - DAP	Individual	Dhandatopa, Orissa, Índia	7,0	0,99	Sharma et al. (2000).
Área basal - DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	7,0	0,03	Swain (1999).
Área basal - DAP	Individual	Bhatapada Research Station, Orissa, Índia	8,0	0,02	Swain (1999).
Área de projeção da copa - DAP	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,73	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Ângulo de inserção dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,24	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Número de ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,27	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Retidão do fuste	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,32	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Diâmetro dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,49	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,66	Llanos-Mayor et al. (2019).
Área de projeção da copa - Volume sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,66	Llanos-Mayor et al. (2019).
Ângulo de inserção dos ramos - Número de ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,16	Llanos-Mayor et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Brotações epicórmicas - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,41	Callister e Collins (2008).
CAP - Espessura de casca	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,18	Narayanan et al. (2009).
CAP - Percentagem de alburno	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	-0,50	Narayanan et al. (2009).
CAP - Percentagem de cerne	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,69	Narayanan et al. (2009).
DAP - Diâmetro dos ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,34	Llanos-Mayor et al. (2019).
DAP - Retidão do fuste	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,50	Llanos-Mayor et al. (2019).
DAP - Forma do fuste	-	-	12,0	0,73	Danarto; Hardiyanto (2000).
DAP - Volume de madeira	Individual	Ciamis, West Java, Indonésia	5,0	0,84	Hadiyan (2009).
DAP - Volume de madeira sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,99	Llanos-Mayor et al. (2019).
DAP - Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,72	Llanos-Mayor et al. (2019).
Densidade básica - Percentagem de alburno	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	-0,30	Narayanan et al. (2009).
Densidade básica - Percentagem de cerne	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	0,28	Narayanan et al. (2009).
Diâmetro dos ramos - Número de ramos	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,16	Llanos-Mayor et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Diâmetro dos ramos - Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,21	Llanos-Mayor et al. (2019).
Diâmetro dos ramos - Volume sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,34	Llanos-Mayor et al. (2019).
Florescimento - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,45	Callister e Collins (2008).
Forma do fuste - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,40	Callister e Collins (2008).
Número de ramos - Volume sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	-0,11	Llanos-Mayor et al. (2019).
Percentagem de alburno - Percentagem de cerne	Individual	Maharashtra, Índia	27,0	-0,93	Narayanan et al. (2009).
Retidão do fuste - Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,31	Llanos-Mayor et al. (2019).
Retidão do fuste - Volume sem casca	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,68	Llanos-Mayor et al. (2019).
Volume sem casca - Volume de madeira por hectare	Individual	Armero-Guayabal, Colômbia	4,3	0,69	Llanos-Mayor et al. (2019).

*CAP: circunferência à altura do peito,

**DAP: diâmetro à altura do peito.

*** Nessa sintetização só foram considerados os valores de correlações genéticas significativos de acordo com teste estatístico.

Tabela 7. Correlações genéticas entre caracteres, obtidas em testes clonais de teca, avaliados em diferentes condições ambientais, idades e países.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Altura - DAP**	Individual	Yogyakarta, Indonésia	3,5	0,95	Nurrudin (2013).
Altura - DAP	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	1,00	Sofyan et al. (2011).
Altura - DAP	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	0,79	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Altura - DAP	Individual	Sul de Sumatra, Indonésia	5,5	1,00	Muslimin et al. (2013).
Altura - DAP	Conjunta (2 ambientes)	-	8,0	0,72	Suksileung et al. (1975).
Altura - Diâmetro da segunda tora	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	0,73	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
Altura - Diâmetro do coleto	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,94	Molina-Quesada et al. (2019).
Altura - Forma do fuste	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,67	Sofyan et al. (2011).
Altura - Sobrevivência	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,51	Molina-Quesada et al. (2019).
Brotações epicórmicas - Desfolhamento por insetos	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	-0,21	Callister e Collins (2008).
Brotações epicórmicas - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,15	Callister e Collins (2008).
DAP - Diâmetro da segunda tora	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	0,93	Solórzano-Naranjo et al. (2012).
DAP - Forma do fuste	Individual	Sumatra do Sul, Indonésia	3,0	0,88	Sofyan et al. (2011).

Continua . . .

Tabela 7. Continuação.

Caracteres	Tipo de análise	Local(is)	Idade (anos)	Correlação genética	Referência
Diâmetro do coleto - Sobrevivência	Individual	Península de Nicoya, Costa Rica	0,7	0,52	Molina-Quesada et al. (2019).
Florescimento - Forma do fuste	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,08	Callister e Collins (2008).
Florescimento - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,32	Callister e Collins (2008).
Forma do fuste - Volume de madeira	Individual	Rio Ord, Norte da Austrália Ocidental	3,5	0,32	Callister e Collins (2008).
Módulo de elasticidade dinâmico em madeira seca - módulo de elasticidade dinâmico em madeira verde	Conjunta (2 ambientes)	Los Chiles e Pocosol, norte da Costa Rica	4,0	0,76	Solórzano-Naranjo et al. (2012).

**DAP: diâmetro à altura do peito.

*** Nessa sintetização só foram considerados os valores de correlações genéticas significativos, de acordo com teste estatístico.

Uso de ferramentas biotecnológicas

Os marcadores moleculares e enzimáticos têm sido utilizados na genotipagem de populações naturais e plantadas de teca, em várias partes do mundo. As aplicações desses marcadores podem ser divididas, de acordo com Rimbawanto (2019) e Tangmitcharoen (2019), nos seguintes eixos ligados à conservação e ao melhoramento genético da teca: **a)** elucidação quanto ao sistema de acasalamento, **b)** detecção de níveis de endogamia e padrões espaciais e temporais de variação genética em diferentes níveis; **c)** descrição de padrões de variação genética geográfica; **d)** inferência sobre relações filogenéticas e taxonômicas entre espécies do gênero *Tectona*; **e)** avaliação dos impactos das práticas de domesticação na diversidade genética, incluindo manejo florestal e melhoramento genético; **f)** fingerprinting e identificação de acessos de germoplasma em programas de melhoramento e de clonagem e **g)** construção de mapas de ligação e seleção assistida por melhoramento.

Variações genéticas expressivas em genes neutros foram encontradas nas populações naturais e plantadas de teca (Fofana et al., 2008; Verhaegen et al., 2010; Ansari et al., 2012; Sreekanth et al., 2013, 2014; Chimello et al., 2017; Giustina et al., 2017; Prasetyo et al., 2020) na Índia, Laos, Mianmar, Tailândia, Indonésia, Malásia e alguns países da África e da América. Em geral, a diversidade dentro de populações tem sido maior que entre populações de teca, com efeito de origem geográfica. Nos trabalhos citados na Tabela 8, poderão ser encontradas informações detalhadas sobre as diferentes populações avaliadas.

Observa-se que a maioria dos trabalhos publicados estão mais alinhados com a conservação genética da teca do que com o melhoramento genético em si. Alguns dos trabalhos realizados como apoio às atividades de melhoramento genético foram no tocante à comprovação de que a teca é uma espécie predominantemente alógama (Kjaer; Suangtho, 1995; Pattanaik; Shiva, 2017); no fingerprinting e na identificação de germoplasma em melhoramento (Kumaravelu, 1979; Krishnan et al., 1999; Narayanan et al., 2007; Chimello et al., 2017; Giustina et al., 2017; Modi et al., 2018; Widyatmoko et al., 2019), em propagação vegetativa (Gangopadhyay et al., 2003; Nurtjahjaningsih et al., 2018) e, também, na construção de mapas de ligação e seleção assistida por melhoramento (Araya et al., 2005; Aguilar, 2007; Vaishnav et al., 2018). Adicionalmente, estudos com genoma e transcriptomas/expressão gênica em teca foram conduzidos por: Diningrat et al. (2014), Galeano et al. (2015, 2019), Tripathi et al. (2017); Yasodha et al. (2018) e Zhao et al. (2019). Informações mais detalhadas sobre esses assuntos podem ser consultadas nos trabalhos em questão.

No intuito de indução de resistência a insetos, de importância econômica nos plantios comerciais de teca, estudos visando à obtenção de transgênicos via metodologia de biolística (Adnan et al., 2007; Norwati et al., 2011) ou via *Agrobacterium tumefaciens* (Zeng et al., 2007, 2008; Widiyanto et al., 2009; Sontikun et al., 2013; Onwimol et al., 2017) têm sido realizados em escala de laboratório.

De modo geral, os genótipos (clones) de teca avaliados tiveram diferentes suscetibilidades à transgenia, sendo os mais suscetíveis selecionados com vistas a obter maior eficiência no processo de transformação genética dessa espécie. Não foram encontrados relatos da avaliação de organismos geneticamente modificados, em nível de campo. Um fato que chama atenção, no caso dos transgênicos, é que as normas atuais do FSC® não admitem a certificação de madeira de árvores transgênicas. Informações sobre isso podem ser obtidas no capítulo que trata do processo de certificação em teca.

Não foram encontrados trabalhos científicos publicados sobre seleção genômica ampla em teca até a data de conclusão deste capítulo. De acordo com as diretrizes estabelecidas na

World Teak Conference de 2013, as ferramentas biotecnológicas devem ser usadas em maior sintonia com as demandas do melhoramento genético intensivo da teca (Tangmitcharoen, 2019). Neste contexto, os marcadores moleculares devem ser aplicados na genotipagem de clones/cultivares; na tentativa de seleção precoce de caracteres, tais como no screening de clones com resistência à doenças e em outras ações, quando possível, no sentido de reduzir o tempo gasto na execução de atividades do programa de melhoramento genético.

Tabela 8. Tipos de marcadores bioquímicos e moleculares utilizados em avaliações de populações de teca, em diferentes países do mundo e respectivas referências bibliográficas.

Tipo de marcador	Referências
Aloenzimas ou isoenzimas	Kumaravelu (1979), Kertadikara e Prat (1995b), Kjaer e Suangtho (1995), Kjaer et al. (1996), Krishnan et al. (1999).
Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)	Araya et al. (2005), Shrestha et al. (2005), Sreekanth e Balasundaran (2013), Sreekanth et al. (2014), Minn et al. (2016), Vaishnav et al. (2018), Vaishnav e Ansari (2018).
Microssatélites ou Simple Sequence Repeats (SSR)	Verhaegen et al. (2005, 2010), Aguilar (2007), Goh et al. (2007), Narayanan et al. (2007), Fofana et al. (2008, 2009), Ansari et al. (2012), Alcântara e Veasey (2013), Lyngdoh et al. (2013), Minn et al. (2014, 2016), Hansen et al. (2015), Huang et al. (2015, 2016), Thwe-Thwe-Win et al. (2015), Vaishnav et al. (2017), Chimello et al. (2017), Giustina et al. (2017), Hansen et al. (2017), Pattanaik e Shiva (2017), Tripathi et al. (2017), Vaishnaw et al. (2017), Monteuuis e Goh (2018), Vaishnav e Ansari (2018), Yasodha et al. (2018), Perozo (2019), Rimbawanto (2019), Win (2019).
Random Amplification of Polymorphic DNA (RAPD)	Gangopadhyay et al. (2003), Katwal (2003), Nicodemus et al. (2003), Parthiban et al. (2003), Narayanan et al. (2007), Chaudhari et al. (2018), Modi et al. (2018), Nurtjahjaningsih et al. (2018).
Sequence Characterized Amplified Regions (SCAR)	Isoda et al. (2000), Rimbawanto (2019), Widyatmoko et al. (2019).
Single Nucleotide Polimorphism (SNPs)	Rimbawanto (2019), Tani et al. (2019), Win (2019), Dunker et al. (2020), Prasetyo et al. (2020).

Considerações finais

O melhoramento genético da teca é uma relevante estratégia para promover o aumento da produtividade de madeira e a adaptação da espécie aos diferentes ambientes. O melhoramento se justifica em razão da teca ser uma espécie que fornece madeira de valor agregado e, por sua vez, com grande demanda no mercado mundial. Além do suprimento de madeira por plantios comerciais, parte dessa demanda ainda é atendida por madeira proveniente de áreas naturais, sendo que muitas vezes as árvores nativas são exploradas sem utilizar os preceitos estabelecidos no manejo florestal para a conservação de áreas naturais.

Pela vasta revisão bibliográfica realizada no presente capítulo, observam-se inúmeras atividades ligadas ao melhoramento genético da teca realizadas em mais de trinta países. Destaca-se o maior número de estudos conduzidos na Indonésia, na India, na Malásia, na Tailândia e na Costa Rica com trabalhos envolvendo, principalmente, genética quantitativa, silvicultura clonal e genética molecular.

Na análise das publicações consultadas fica evidenciado que os trabalhos ligados ao melhoramento de teca são realizados há quase um século, tendo envolvimento inicialmente de instituições públicas e, recentemente, são apresentados vários trabalhos que envolvem parcerias públicos-privadas ou somente privadas, inclusive no Brasil.

No Brasil, as ações ligadas ao melhoramento genético dessa espécie parecem ser ainda esparsas e não concatenadas ou estruturadas dentro de um programa de melhoramento genético de longo prazo. Os trabalhos existentes são estabelecidos por iniciativas de instituições públicas, parcerias públicos-privadas e, ou somente privadas, focadas ao que parece, majoritariamente na seleção massal de clones em plantios comerciais seminais. Além disso, o número de melhoristas envolvidos no melhoramento da teca ainda é bastante reduzido.

Em decorrência da importância dos cultivos de teca no Brasil, torna-se indiscutível a necessidade do estabelecimento de um programa de melhoramento genético para a espécie, estruturado em rede experimental robusta, contemplando diferentes condições ambientais dentro da zona de melhoramento a ser escolhida e a ser conduzido de forma contínua. O modelo de cooperativa envolvendo a parceria entre instituições públicas e privadas, conforme aqueles idealizados para teca na Costa Rica (Genfores) e o Projeto Cooperativo de Melhoramento Genético de Pinus (PCMP) idealizado pela Embrapa Florestas, pela Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal (APRE) e pela Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR), parece um bom caminho a ser adotado também para a teca no Brasil.

Referências

ADINUGRAHA, H. A.; EFENDI, A. A. Pertumbuhan bibit hasil okulasi pada beberapa klon jati dari Gunungkidul dan Wonogiri. **Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan**, v. 12, n. 1, p. 13-24, 2018.

ADINUGRAHA, H. A.; PUDJIONO, S.; JAYUSMAN. Growth variation of several origin populations of teak in the progeny test plantation at 10 years old in Gunungkidul, Yogyakarta. **Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia**, v. 5, p. 426-430, 2019. DOI: https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050302.

ADNAN, N.; ABDULLAH, R.; MUHAMMAD, N.; BASHERUDIN, N. A biolistic approach for the transfer and expression of uidA gene in nodal segments of teak (*Tectona grandis*). **Asia Pacifc Journal of Molecular Biology and Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 115-120, 2007.

ADU-BREDU, S.; OFORI, A. F.; RAEBILD, A.; HANSEN, J. K.; KOFFI, A.; VIGNERON, P.; KAJAER, E. D. Trait variations in 28-year-old teak (*Tectona grandis*) provenance field trials in Ghana, West Africa. **Southern Forests**: A Journal of Forest Science, v. 81, n. 1, p. 57-68, 2019. DOI: https://doi.org/10.2989/20702620.2018.1490993.

AGUILAR, B. G. **Caracterización genética con microsatélites de un ensayo deprogenie de teca (*Tectona grandis* Linn f.) en San Mateo de Alajuela**. 2007. 67 f. Trabajo Final de Graduación (Graduación Ingeniería en Biotecnología) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

AHMAD, M. Relative resistance of different clones of *Tectona grandis* to teak defoliator, *Hyblaea puera* Cram (Lepidoptera: Hyblaeidae) in south India. **Indian Forester**, v. 113, n. 4, p. 281-286, 1987.

ALCÂNTARA, B. K. de; ORTEGA, E. M. M.; SOUZA, V. C. Identification of morphological descriptors for characterization of teak (*Tectona grandis* L. f.). **Advances in Forestry Science**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2016. DOI: https://doi.org/10.34062/afs.v3i1.2930.

ALCÂNTARA, B. K. de; VEASEY, E. A. Genetic diversity of teak (*Tectona grandis* L. f.) from diferent provenances using microsatellite markers. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 747-758, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400018.

ALEXANDRE, F. S. **Estratégias de avaliação da resistência à murcha-de-ceratocystis causada por *Ceratocystis fimbriata* em *Tectona grandis***. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

ALEXANDRE, F. S.; OLIVEIRA, M. L. F.; SANTOS, A. L. R.; BASTOS, H. B.; MAGOSSO, B. F.; GONCALVES, I. S.; ALFENAS, R. F. Seleção de genótipos de teca resistentes à murcha-de-ceratocystis causada por *Ceratocystis fimbriata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 51., 2019, Recife. **Anais** [...]. Recife: UFRPE, 2019. p. 726-726.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 500 p.

ANON. **Research work of the Teak Improvement Centre (In Thai)**. Ngao, Lampang, Thailand: TIC, 1972.

ANSARI, S. A.; NARAYANAN, C.; WALI, S. A.; KUMAR, R.; SHUKLA, N.; RAHANGDALE, S. K. ISSR markers for analysis of molecular diversity and genetic structure of Indian teak (*Tectona grandis* L. f.) populations. **Annals of Forest Research**, v. 55, n. 1, p. 11-23, 2012.

ARAYA, E.; MURILLO, O.; AGUILAR, G.; ROCHA, O.; WOOLBRIGHT, S.; KEIM, P. Possibilities of breeding teak (*Tectona grandis* L. f.) in Costa Rica assisted by AFLP markers. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 2, n. 5, p. 12-18, 2005.

ARENHART, M. L.; ALEXANDRE, F. S.; SANTOS, A. L. R.; OLIVEIRA, M. L. F.; OLIVEIRA, I. C.; OLIVEIRA, J. K.; NASCIMENTO, F. S. O.; ALFENAS, R. F. Protocolo de inoculação para seleção de clones de teca resistentes à murcha-de-ceratocystis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 51., 2019, Recife. **Anais** [...]. Recife: UFRPE, 2019.

ARGUEDAS-GAMBOA, M.; MURILLO, O. G.; AYUSO, F.; MADRIGAL, O. Variación en la resistencia de clones de teca (*Tectona grandis* L. f.) ante la infección de la roya (*Olivea tectonae* Rac.) en Costa Rica. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 2, n. 6, p. 15-24, 2005.

ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 217-244.

ASSIS, T. F. de. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 189, n. 185, p. 32-51, 1996.

ASSIS, T. F. de; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, p. 44-49, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000500007.

AVELAR, T. C. S. **Caracterização morfológica de folhas de teca (*Tectona grandis* L. f.) para distinção de clones**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

AYATE, D.; UJJAINKAR, V. V. Genetic analysis for quantitative traits in teak (*Tectona grandis* L.). **Technofame**: A Journal of Multidisciplinary Advance Research, v. 7, n. 2, p. 73-75, 2018.

BAGCHI, S. K. Selection differential and predicted genetic gain in *Tectona grandis*. **The Indian Forester**, v. 121, n. 6, p. 482-490, 1995. Disponível em: http://www.indianforester.co.in/index.php/indianforester/article/view/7165. Acesso em: 24 mar. 2021.

BAGCHI, S. K.; SHARMA, V. P.; GUPTA, P. K. Developmental instability in leaves of *Tectona grandis*. **Silvae Genetica**, v. 38, p. 1-6, 1989.

BANIK, R. L. Teak in Bangladesh. In: WOOD, H. (ed.). **Teak in Asia**. Bangkok, Thailand: FORSPA, 1993. (FORSPA. FORSPA publication, 4).

BARCELI, A. C.; BONALDO, S. M.; RAASCH-FERNANDES, L. D. Severidade de ferrugem (*Olivea tectonae*) em diferentes clones de teca no norte de Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 2, p. 42-46, 2019.

BARRETA, M. C. **Desenvolvimento e caracterização morfológica de clones de teca de matrizes selecionadas de povoamentos no sudoeste do estado de Mato Grosso**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

BASKOROWATI, L.; ADINUGRAHA, A. H.; SUSANTO, M.; MASHUDI. Variasi pertumbuhan dan pembuahan klon jati (*Tectona grandis* L. f.) umur 11 tahun. **Bioeksperimen**, v. 6, n. 1, p. 9-17, 2020.

BASTOS, H. B.; ALEXANDRE, F. S.; ARRIEL, D. A. A.; ALFENAS, R. F. Variabilidade em genótipos de *Tectona grandis* para a ferrugem. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO E PRESERVAÇÃO DOS RECURSOS FLORESTAIS DE MATO GROSSO, 1., SEMANA ACADÊMICA DA ENGENHARIA FLORESTAL, 2., ENCONTRO DE ATUALIZAÇÕES FLORESTAIS, 6., 2018, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: UFMT, 2018.

BEDELL, P. Preliminary observations on variability of teak in India. **The Indian Forester**, v. 115, n. 2, p. 72-80, 1989.

BEHERA, M. K.; BHOL, N. Inter-clonal variations in fruit parameters in a clonal seed orchard of teak (*Tectona grandis* L. f.). **The Indian Forester**, v. 142, n. 11, p. 1061-1064, 2016.

BEHERA, M. K.; BHOL, N.; PARIDA, A. K.; PRADHAN, T. R. Assessment of inter-population genetic diversity and preliminary evaluation of suitable clones of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 1, p. 273-278, 2016. DOI: https://doi.org/10.31018/jans.v8i1.785.

BENDALE, V. W.; NAIK, R. Y.; MEHTA, J. L.; BHAVE, S. G.; PETHE, U. B. Variability studies in teak. **Journal of Ecobiology**, v. 17, n. 1, p. 29-34, 2005.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma Press, 2020. 422 p.

BETANCOURT, J. L. R. **Descritores morfológicos para caracterização de clones de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat Region in India. **International Association of Wood Anatomists Journal**, v. 25, n. 3, p. 273-282, 2004. DOI: https://doi.org/10.1163/22941932-90000365.

BILA, A. D.; LINDGREN, D.; MULLIN, T. J. Fertility variation and its effect on diversity over generations in a teak plantation (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 48, n. 3-4, p. 109-114, 1999.

BINGCHAO, K.; JIAYU, Z. S. B.; SHULAN, N. **Provenance tests in China over a decade**. Longdong, Guangzhou: Chinese Academy of Forest Science, 1986. (Chinese Academy of Forest Science. Teak in China, 3).

BINGCHAO, K.; SHUZHEN, Z. Genetic improvement of teak in China. In: WOOD, H. (ed.). **Teak in Asia**. Bangkok, Thailand: FORSPA, 1993. (FORSPA. FORSPA publication, 4).

BOONSERMSUK, S. **ITTO Project**: Enhancing conservation and sustainable management of teak forests and legal and sustainable wood supply chains in the Greater Mekong Sub-region (PP-A/54-331). 2019. Disponível em: https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/3233/Project/PP-A%2054-331%20-FINAL%20ITTO%20Teak%20Activity%20Document.pdf. Acesso em 31 ago. 2020.

BORGES, R. C. F.; MACEDO, M. A.; FONSECA, M. E. N.; MARTINS, I.; FERREIRA, M. A.; BOITEUX, L. S. Reação de acessos de teca (*Tectona grandis*) a *Ceratocystis fimbriata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 8., 2015, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: SBMP, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ato número 09, de 3 de agosto de 2020. Descritores mínimos definidos para fins de proteção de cultivares de teca (*Tectona grandis* L.). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 1, p. 1, 4 ago. 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/ato-n-9-de-3-de-agosto-de-2020-270222225. Acesso em: 21 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Tectona grandis*. In: CULTIVARWEB: Registro Nacional de Cultivares. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 21 mar. 2021.

BUDIADI; W.; ISHII, H. Response of a clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 1, p. 44-53, 2017.

CALDEIRA, S. F. Doenças bióticas e abióticas da teca no Brasil. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M.; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia florestal**: desafios e perspectivas. São Carlos, SP: Suprema, 2013. p. 220-244.

CALLISTER, A. N.; COLLINS, S. L. Genetic parameter estimates in a clonally replicated progeny test of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Tree Genetics & Genomes**, v. 4, p. 237-245, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-007-0104-2.

CALLISTER, A. N. Genetic parameters, and correlations between stem size, forking, and flowering in teak (*Tectona grandis*). **Canadian Journal Forest Research**, n. 43, p. 1145-1150, 2013. DOI: https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0226.

CAMERON, A. L. Forest tree improvement in New Guinea. In: COMM. FOREST CONFERENCE, 9, 1968, New Delhi. **Anais** [...]. New Delhi: 1968.

CAMERON, A. L. Genetic improvement of teak in New Guinea. **Australian Forestry**, v. 30, n. 1, p. 76-87, 1966.

CAMINO, R. de; MORALES, J. P. (ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2013. 392 p. (CATIE. Serie técnica. Informe técnico, 397).

CAÑADAS, A.; RADE, D.; ZAMBRANO, C.; MOLINA, C.; ARCE, L. Evaluación y manejo de fuentes semilleres de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) en la Estación Experimental Tropical Pichilinue, Ecuador. **Avances**, v. 5, n. 1, p. 64-75, 2013. DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v5i1.123.

CHACKO, K. C.; KEDHARNATH, S.; JOHN, C. H. Incidence of phyllotaxy variants in teak (*Tectona grandis* L. f.). **The Indian Forester**, v. 126, n. 3, p.314-316, 2000.

CHAIX, G.; MONTEUUIS, O.; GARCIA, C.; ALLOYSIUS, D.; GIDIMAN, J.; BACILIERI, R.; GOH, D. K. S. Genetic variation in major phenotypic traits among diverse genetic origins of teak (*Tectona grandis* L. f.) planted in Taliwas, Sabah, East Malaysia. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 5, p.1015-1026, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-011-0109-8.

CHANDHA, K. M.; PATNIK, S. S. Country report, India. In: ASIA PACIFIC REGIONAL WORKSHOP ON TREE BREEDING AND PROPAGATION, 1990, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: UNDO/FAO, 1990.

CHAUDHARI, C.; JHA, S. C.; DHAKA, R. K.; PAREKH, V.; SANKANUR, M. S.; PRAJAPAT, P.; THAKUR, S. Genetic diversity analysis of teak in South Gujarat by RAPD marker. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 6, p. 260-267, 2018.

CHAWHAAN, P. H.; KHOBRAGADE, N. D.; MANDAL, A. K. Genetic analysis of fruit and seed parameters in teak (*Tectona grandis* L. f.): implications in seed production programme. **Indian Journal Genetic and Plant Breeding**, v. 63, n. 3, p. 239-242, 2003.

CHIMELLO, A. M.; JESUS, J. G.; TEODORO, P. E.; ROSSI, A. A. B.; ARAÚJO, K. L.; MAROSTEGA, T. N.; NEVES, L. G.; BARELLI, M. A. A. Morphological descriptors and ISSR molecular markers in the evaluation of genetic variability of *Tectona grandis* genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2: gmr16029665, 2017. DOI: https://doi.org/10.4238/gmr16029665.

CHIMELLO, A. M. **Variabilidade genética e avaliação da resistência à *Olivea neotectonae* em genótipos de *Tectona grandis***. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

CORRÊA, B. M. B. **Crescimento de clones de teca em Cáceres, Mato Grosso**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CORREA, E.; ESPITIA, M.; ARAMÉNDIZ, H.; MURILLO, O.; PASTRANA, I. Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. en la conformación de lotes mezclados em Córdoba, Colombia. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica**, v. 16, n. 2, p. 379-389, 2013.

COSTA, R. B. da; CHICHORRO, J. F.; SILVA, A. Z. C. da. Melhoramento genético de teca como alternativa de desenvolvimento rural. **Multitemas**, v. 42, p. 87-99, 2012. DOI: https://doi.org/10.20435/multi.v0i0.277.

COSTA, R. B. da; MARTINEZ, D. T.; CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. de. O.; CEZANA, D. P.; SOUZA, T. R. de. Desempenho de progênies no pré-melhoramento de *Tectona grandis* L. f. no Estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 211-216, 2015.

COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de espécies alternativas para o Centro-Oeste: teca. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba, PR. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 153-167. (Embrapa Florestas. Documentos, 62). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102990/1/MelhoramentoEspeciesAlternativas.pdf. Acesso em: 18 jul. 2021.

COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V. de; MORAES e SILVA, V. S. de. Experimentação e seleção no melhoramento genético de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 76-92, 2007.

COTTERILL, P. P.; DEAN, C. A. **Successful tree breeding with index selection**. Melbourne: CSIRO, 1990. 80 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2006. v. 2, 585 p.

DAMAYANTI, M. M. T. **Descripción morfológica de progenies de teca (*Tectona grandis*) de diferentes procedencias, a un año de instalado en campo definitivo, em Puerto Inca - Huánuco**. 2018. 130 f. Tesis (Graduacion em Ingeniería Forestal) - Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

DAMAYANTI, R.; ILIC, J.; OZARSKA, B.; PARI, G.; VINDEN, P. Effect of clone and sites for wood properties of fast grown teak and determination of the best clone for next cultivation in teak plantation industries. **IOP Conference Series**: Earth and Environmental Science, v. 359, 012002, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/359/1/012002.

DANARTO, S.; HARDIYANTO, E. B. Results of the progeny test of teak at 12 years of age at Jember, East Java. In: HARDIYANTO, E. B. (ed.). **Potentials and opportunities in marketing and trade of plantation teak**: challenge for the new millennium: proceedings of the Third Regional Seminar on Teak, July 31 – August 24, 2000, Yogyakarta, Indonesia. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University, 2000. p. 249-253.

DELAUNAY, J. Resultats d'essais de provenances de teck, *Tectona grandis*, six ans apres leur mise en place en Cote d'Ivoire. In: WORLD CONSULTATION OF FOREST TREE BREEDING, 3., v. 1, 1977, Canberra. **Proceedings** [...]. Canberra: CSIRO. p. 273-284.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Boston: Cengage Learning, 2018. 656 p.

DHAKA, R. K.; JHA, S. K. Evaluation of provenances for drupe, seed, and germination traits in teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, n. 6, v. 11, p. 1721-1727, 2017. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.208.

DININGRAT, D. S.; WIDIYANTO, S. M.; PANCORO, A.; IRIAWATI, S. D.; PANCHANGAM, B.; ZEMBOWER, N.; CARLSON, J. E. Transcriptomes of teak (*Tectona grandis* L. f) in vegetative to generative transition stage development. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v. 9, n. 3, p. 1416-1427, 2014. DOI: https://doi.org/10.3923/jps.2015.1.14.

DINIZ, N. N. **Características dos frutos de *Tectona grandis* L. f., de três procedências de Mato Grosso**. 1999. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

DONG, T. L.; HÁ, D. H. Teak plantation in Vietnan. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: https://teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/Vietnam.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

DUDLEY, J. W.; MOLL, R. H. Interpretation and use of estimation of heritability and genetic variance in plant breeding. **Crop Science**, v. 2, n. 3, p. 257-262, 1969. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1969.0011183X000900030001x.

DUNKER, B.; DORMONTT, E. E.; DIJK, K.; DIXON, R. R. M.; JARDINE, D. I.; KIRETA, D.; NURTJAHJANINGSIH, I. L. G.; WIN, T. T.; RIMBAWANTO, A.; LOWE, A. J. A set of 156 SNP markers for teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Conservation Genetics Resources**, v. 12, p. 205-207, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12686-019-01099-7.

ECHEVERRÍA, P.; FLEITAS, Y.; PÉREZ, M. H.; GONZÁLEZ, A.; RIVERO, M.; GONZÁLEZ, E. S; FÚSTER, J. A.; PLACENCIA, T. Comportamiento de procedencias de *Tectona grandis*(L. f.) en Pinar del Río, Defors, 2005.

EGENTI, L. C. Aspects of pollination ecology of teak (*Tectona grandis* Linn f.) in Nigeria. Pollinators and fruit production. In: KRUGMAN, S. L.; KATSUTA, M. (ed.). IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kyoto. **Proceedings** [...]. Kyoto: IUFRO, 1981. p. 27-31.

EGENTIL, L. C. Improvement of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Nigeria. In: NIKLES, D. G.; BURLEY, J. K.; BARNES, R. D. (ed.). **Progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees**: proceedings of the IUFRO Conference, 1977, Brisbane. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1978a. p. 797-801.

EGENTIL, L. C. Pollen and stigma viability in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 27, n. 1, p. 29-32, 1978b.

ESPITIA, M.; MURILLO, O.; CASTILLO, C. Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). **Colombia Forestal**, v. 14, n. 1, p. 81-93, 2011. DOI: https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.1.a07.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FAO. Food and Agriculture of United Nations. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. **The state of the world's forest genetic**. Rome, 2014. 304 p. Disponível em: http://www.fao.org/3/i3825e/i3825e.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

FERREIRA, M. O histórico da introdução de espécies florestais de interesse econômico e o estado de sua conservação no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS, 2000, Paranaguá, PR. **Memórias** [...]. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2001. 159 p. (Embrapa Florestas. Documentos 56). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17066/1/doc56.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

FLEITAS-CAMACHO, Y.; PÉREZ-SANTANA, M. H.; ECHEVERRÍA-CARABALLO, P.; GONZÁLEZ-ROQUE, A.; RIVERO-VEGA, M.; GONZÁLEZ-VERA, E. S.; FÚSTER-MANCHA, J. A.; PLACENCIA-PUENTES, T. Comportamiento de descendências de *Tectona grandis* (L. f.) en Pinar del Río. **Revista Forestal Baracoa**, v. 29, n. 1, p. 31-39, 2010.

FOFANA, I. J.; LIDAH, Y. J.; DIARRASSOUBA, N.; N'GUETTA, S. P. A.; SANGARE, A.; VERHAEGEN, D. Genetic structure, and conservation of teak (*Tectona grandis*) plantations in Côte d'Ivoire, revealed by site specific recombinase (SSR). **Tropical Conservation Science**, v. 1, n. 3, p. 279-292, 2008. DOI: https://doi.org/10.1177/194008290800100308.

FOFANA, I. J.; OFORI, D.; POITEL, M.; VERHAEGEN, D. Diversity, and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. **New Forests**, v. 37, p. 175-195, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-008-9116-5.

FONSECA, S. M. da; RESENDE, M. D. V. de; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. da S.; ASSIS, T. F. de; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 200 p.

GALEANO, E.; VASCONCELOS, T. S.; NOVAIS-de-OLIVEIRA, P., CARRER, H. Physiological and molecular responses to drought stress in teak (*Tectona grandis* L.f.). **PLoS ONE**, v. 14, n. 9: e0221571, 2019. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221571.

GALEANO, E.; VASCONCELOS, T. S.; VIDAL, M.; MEJIA-GUERRA, M. K.; CARRER, H. Large-scale transcriptional profiling of lignified tissues in *Tectona grandis*. **BMC Plant Biology**, v. 15, 221, 2015. DOI: https://doi.org/10.1186/s12870-015-0599-x.

GAMBOA, O. M.; MONTOYA, A. M. A forest breeding program as part of a rural development strategy. In: IUFRO CONFERENCE, 1992, Colombia. **Proceedings** [...]. Colombia: IUFRO, 1992.

GANGOPADHYAY, G.; GANGOPADHYAY, S. B.; PODDAR, R.; GUPTA, S.; MUKHERJEE, K. K. Micropropagation of *Tectona grandis*: assessment of genetic fidelity. **Biol Plant**, v. 46, p. 459-461, 2003. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1024359126802.

GERA, M.; GERA, N.; SHARMA, S. Estimation of variability in growth characters of forty clones of *Tectona grandis* L. f. **The Indian Forester**, v. 127, n. 6, p. 639-644, 2001.

GIUSTINA, L. D.; ROSSI, A. A. B.; VIEIRA, F. S.; TARDIN, F. D.; NEVES, L. G.; PEREIRA, T. N. S. Variabilidade genética em genótipos de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) baseada em marcadores moleculares ISSR e caracteres morfológicos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1311-1324, 2017. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509829894.

GOH, D. K. S.; BACILIERI, R.; CHAIX, G.; MONTEUUIS, O. Growth variations and heritabilities of teak CSO-derived families and provenances planted in two humid tropical sites. **Tree Genetics & Genomes**, v. 9, p. 1329-1341, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-013-0642-8.

GOH, D. K. S.; CHAIX, G.; BAILLÈRES, H.; MONTEUUIS, O. Mass production and quality control of teak clones for tropical plantations: the Yayasan Sabah Group and CIRAD Joint Project as a case study. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 293, n. 3, p. 65-77, 2007.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Behaviour of the “YSG Biotech TG1-8” teak clonesunder various site conditions: first observations. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 311, n. 1, p. 5-19, 2012.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Rationale for developing intensive teak clonals plantations, with special reference to Sabah. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 285, n. 3, p. 5-15, 2005.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Status of the “YSG Biotech” program of building teak genetic resources in Sabah. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 301, n. 3, p. 33-49, 2009.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

GRAUDAL, L.; KJAER, E. D.; SUANGTHO, V.; SAARDAVUT, P.; KAOSA-ARD, A. **Conservation of genetic resources of teak (*Tectona grandis*) in Thailand**. Humlebaek, Denmark: DANIDA Forest Seed Centre, 1999. 36 p. (DANIDA Forest Seed Centre. Technical note, 52).

GRAUDAL, L.; MOESTRUP, S. Genetic Resources Conservation and, Management. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. p. 19-29. Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

GUNAGA, R. P.; KANFADE, A.; VASUDEVA, R. Soil fertility status of 20 seed production areas of *Tectona grandis* Linn. f. in Karnataka, India. **Journal of Forest Science**, v. 57, n. 11, p. 483-490, 2011. DOI: https://doi.org/10.17221/119/2010-JFS.

GUNAGA, R. P.; SURENDRAN, T.; PRABHU, H. N. Morphological variation and delineation of teak (*Tectona grandis* L. f.) clones of Kerala through leaf character: implication for seed orchard management. Mysore **Journal of Agricultural Sciences**, v. 47, n. 1, p. 202-205, 2013.

GUNAGA, R.; VASUDEVA, R. Overlap index: a measure to assess flowering synchrony among teak (*Tectona grandis* Linn. f.) clones in seed orchards. **Current Science**, v. 97, n. 6, p. 941-946, 2009.

GYI, K. K.; KHIN, U. A.; WIN, U. Z.; KYI, D. T. **Interim reporto n teak provenance trial (seed characteristics)**. Myanmar: Forest Department, 1984. 38 p. (Forest Department. Leaflet, 5/83-84).

GYI, K. K. Teak in Myanmar. In: WOOD, H. (ed.). **Teak in Asia**. Bangkok, Thailand: FORSPA, 1993. (FORSPA. FORSPA publication, 4). p. 51-62.

HADIYAN, Y. Keragaman pertumbuhan uji keturunan jati (*Tectona grandis* L. f.) umur 5 tahun di Ciamis, Jawa Barat. **Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan**, v. 3, n. 2, p. 95-102, 2009.

HALLAUER, A. R. Compedium of recurrent selection methods and their applications. **Critical Review in Plant Science**, v. 3, p. 1-33, 1986. DOI: https://doi.org/10.1080/07352688509382202.

HANSEN, O. K.; CHANGTRAGOON, S.; PONOY, B.; KJAER, E. D.; MINN, Y.; FINKELDEY, R.; NIELSEN, K. B.; GRAUDAL, L. Genetic resources of teak (*Tectona grandis* Linn. f.): strong genetic structure among natural populations. **Tree Genetics & Genomes**, n. 11, p. 802, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-014-0802-5.

HANSEN, O. K.; CHANGTRAGOON, S.; PONOY, B.; LOPEZ, J.; RICHARDS, J.; KJAER, E. D. Worldwide translocation of teak: origin of landraces and presente genetic base. **Tree Genetics & Genomes**, v. 13, p. 87, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-017-1170-8.

HARAHAP, R. N.; SOERIANEGARA, I. Heritability of some characters in teak. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 3., v. 2, 1977, Canberra. **Proceedings** [...]. Canberra: IUFRO/CRO, 1977.

HEDEGART, T. Breeding systems, variation, and genetic improvement of teak (*Tectona grandis* L. f.). In: BURLEY, J.; STYLES, B. T. (ed.). **Tropical trees, variation, breeding and conservation**. New York: Academic Press, 1976. p. 109-121. (Academic Press. Linnean Society Symposium Series, 2).

HEDEGART, T. Initiation of teak provenance research in Thailand. **Vanasarn**, v. 29, n. 2, p. 18-26, 1971a.

HEDEGART, T. The Thai-Danish Teak Improvement Centre five years after initiation. **Unasylva**, v. 25, n. 1, p. 31-37. 1971b.

HEDGE, M.; RAMTEKE, P. K.; SUBRAMANIAN, K. Genetic variation and interse genetic correlation of seedling characteristics in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Indian Journal of Forestry**, v. 27, n. 1, p. 19-24, 2004.

HERNÁNDEZ, N. A. **Determinación de propiedades generales, físicas y de color para 20 clones de *Tectona grandis* en la Zona de Peñas Blancas Guanacaste, Costa Rica**. 2013. 46 f. Tesis de graduación (Licenciatura em Ingeniería Forestal) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

HIDAYATI, F.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; MAKINO, K.; MARSOEM, S. N.; YOKOTA, S. Among-clone variations of anatomical characteristics and wood properties in *Tectona grandis* planted in Indonesia. **Wood and Fiber Science**, v. 46, n. 3, p. 385-393, 2014.

HIDAYATI, F.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; MAKINO, K.; TAKASHIMA, Y.; DANARTO, S.; WINARNI, W. W.; IRAWATI, D.; NA'IEM, M.; YOKOTA, S. Variation in tree growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 24-year-old teak (*Tectona grandis*) trees originating in 21 seed provenances planted in Indonesia. **Journal of Wood Science**, v. 59, p. 512-516, 2013a. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-013-1368-9.

HIDAYATI, F.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; MAKINO, K.; TANABE, J.; MARSOEM, S. N.; NAIEM, M.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, N. Growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 15 clones of 12-year-old *Tectona grandis* trees planted at two different sites in Indonesia. **Journal Wood Science**, v. 59, p. 249-254, 2013b. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-012-1320-4.

HINE, A.; ROJAS, A.; SUAREZ, L.; MURILLO, O.; ESPINOZA, M. Optimization of pollen germination in *Tectona grandis* (teak) for breeding programs. **Forests**, v. 10, p. 908, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/f10100908.

HOUNLONON, M. C.; KOUCHADE, C. A.; KOUNOUHEWA, B. B. Propriétés physiques et mécaniques du bois de teck de provenances tanzanienne et locale au Bénin. **Bois et Forêsts Dês Tropiques**, v. 331, n. 1, p. 45-54, 2017.

HUANG, G. H.; LIANG, K. N.; ZHOU, Z. Z.; GUANG, Y.; MURALIDHARAN, E. M. Variation in photosynthetic traits and correlation with growth in teak (*Tectona grandis* Linn.) clones. **Forests**, v. 10, p. 44, 2019a. DOI: https://doi.org/10.3390/f10010044.

HUANG, G. H.; LIANG, K. N.; ZHOU, Z. Z.; GUANG, Y.; WANG, X. Y. Genetic variation and selective effect of growth traits of teak clones. **Journal of South China Agricultural University**, v. 40, n. 1, p. 101-106, 2019b.

HUANG, G. H.; LIANG, K. N.; ZHOU, Z. Z.; MA, H. M. Genetic variation, and origin of teak (*Tectona grandis* L. f.) native and introduced provenances. **Silvae Genetica**, v. 64, p. 1-2, 2015. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2015-0003.

HUANG, G. H.; LIANG, K. N.; ZHOU, Z. Z.; MA, H. M. SSR genotyping-genetic diversity and fingerprinting of teak (*Tectona grandis*) clones. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 28, n. 1, p. 48-58, 2016.

HTUN, N.; KAUFMANN, C. M. **Tree improvement in Burma**. Yezin, Myanmar: Forest Research Institute, 1980. p. 80-81. (Forest Research Institute. Technical document, 4).

HUK, F.; BANIK, L. B. Country Report. In: ASIA PACIFIC REGIONAL WORKSHOP ON TREE BREEDING AND PROPAGATION, 1990, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: UNDP/FAO, 1990.

HUSEN, A. **Clonal propagation of teak (*Tectona grandis* Linn. f.)**: adventitious root formation: influence of physiological and chemical factors. Germany: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co, 2012. 460 p.

INDIRA, E. P.; BHAT, K. M. Effects of site and place of origin on wood density of teak (*Tectona grandis*) clones. J**ournal of Tropical Forest Science**, v. 10, n. 4, p. 537-541, 1998.

INDONESIA FOREST STATE ENTERPRISE. Teak in Indonesia. In: WOOD, H. (ed.). **Teak in Asia**. Bangkok, Thailand: FORSPA, 1993. (FORSPA. FORSPA publication, 4).

ISODA, K.; WATANABE, A.; WIDYATMOKO, A. Y.; RIMBAWANTO, A.; SHIRAISHI, S. The simple and reliable management of teak (Tectona grandis) clones with SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) marker. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 3., 2000, Yogyakarta, Indonesia. **Proceedings** [...]. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University, 2000. p. 265-269.

KAMBALE, P. D.; NARKHEDE, S. S.; MHAISKE, V. M.; RANE, A. D.; GUNAGA, R. P. Variation in seed quality seed parameters of teak clones (*Tectona grandis* L. f.). **Journal of Tree Sciences**, v. 34, n. 1, p. 17-22, 2015.

KANCHANABURANGURA, C. **Some factors controlling teak (*Tectona grandis* L. f.) seedlings development and provenance variation with particular reference to Thailand**. 1976. 228 f. Thesis (Master of Science) - Australian National University.

KANG, S. K. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, v. 62, p. 199-252, 1998.

KATWAL, R. P. S. Teak in India: status, prospects, and perspectives. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY TIMBER PRODUCTS OF TEAK FROM SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, 2003, Peechi, India. **Proceedings** [...]. India: Kerala Forest Research Institute, Japan: International Tropical Timber Organisation, 2003.

KAOSA-ARD, A. Gains from provenance selection. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SITE, TECHNOLOGY, AND PRODUCTIVITY OF TEAK PLANTATIONS, 1999, Chiang Mai, Thailand. **Proceedings** [...]. Chiang Mai, Thailand: [s.n.], 1999. p. 191-207.

KAOSA-ARD, A.; SUANGTHO, V.; KJAER, E. D. **Experience from tree improvement in Thailand**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1998a. (Danida Forest Seed Centre. Technical note, 50).

KAOSA-ARD, A.; SUANGTHO, V.; KJAER, E. D. Genetic improvement of teak (*Tectona grandis*) in Thailand. **Forest Genetic Resources**, v. 26, p. 21-29, 1998b.

KAOSA-ARD, A. **Teak improvement program**: annual report, n. 15-16. Bangkok, Thailand: Teak Improvement Centre (TIC), 1983b.

KAOSA-ARD, A. **Teak seed collection zones in Thailand**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1983a. (Danida Forest Seed Centre. Technical note, 16).

KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* L.f.): its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 19, p. 55-74, 1989. Disponível em: https://thesiamsociety.org/wp-content/uploads/2020/04/NHBSS_029_g_KaosaArd_TeakTectonaGrand.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KEIDING, H.; WELLENDORF, H.; LAURIDSEN, E. B. **Evaluation of an international series of teak provenance trials**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1986. 91 p. Disponível em: https://static-curis.ku.dk/portal/files/35116262/Teak_evaluation_1.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KEDHARNATH, S.; MATTHEWS, J. D. Improvement of teak by selection and breeding. **The Indian Forester**, v. 88, n. 4, p. 277-28, 1962.

KEIDING, H. Aim and prospects of teak breeding in Thailand. A programme of work for the Thai-Danish Teak Improvement Centre at Mae Huad Teak Plantation. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 21, n. 1-2, p. 45-62, 1966. Disponível em: https://www.thaiscience.info/Journals/Article/NHB/10439184.pdf. Acesso: 21 mar. 2021.

KEMNARK, G.; BOONKIRD, S. A preliminary study of the variation of teak (in Thai). In: NAT. CONF. AGR. BIO., 2., 1963, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: Kasetsart University, 1963. p. 261-269.

KERTADIKARA, A. W. S.; PRAT, D. Genetic struture and mating system in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 44, n. 2-3, p. 104-110, 1995a.

KERTADIKARA, A. W. S.; PRAT, D. Isozyme variation among teak (*Tectona grandis* L. f.) provenances. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 90, p. 803-810, 1995b.

KHANDURI, V. P. Annual variation in floral phenology and pollen production in a 25-year-old plantation of *Tectona grandis*. **Nordic Journal of Botany**, v. 30, p. 82–89, 2012. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2011.01157.x.

KJAER, E. D.; FOSTER, G. S. **The economics of tree improvement of teak (*Tectona grandis* L.)**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1996. 27 p. (Danida Forest Seed Centre. Technical note, 43).

KJAER, E. D.; KAJORNSRICHON, S.; LAURIDSEN, E. B. Heartwood, calcium, and silica content in five provenances of teak (*Tectona grandis* L.). **Silvae Genetica**, v. 48, n. 1, p. 1-3, 1999.

KJAER, E. D.; KAOSA-ARD, A.; SUANGTHO, V. Domestication of teak through tree improvement. Options, possible gains, and critical factors. In: ENTERS, T.; NAIR, C. T. S. (ed.). **Site, technology, and productivity of teak plantations**. Bangkok: FORSPA, 2000. p. 161-189. (FORSPA. Teaknet Publication, 3).

KJAER, E. D.; LAURIDSEN, E. B.; WELLENDORF, H. **Second evaluation of an international series teak provenance trials (1995)**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 2008. 114 p.

KJAER, E. D.; SIEGISMUND, H. R. Allozyme diversity in two Tanzanian and two Nicaraguan landraces of teak (*Tectona grandis* (L. f.)). **Forest Genetics**, v. 3, n. 1, p. 45-52, 1995.

KJAER, E. D.; SIEGISMUND, H. R.; SUANGTHO, V. A multivariate study on genetic variation in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 45, n. 5-6, p. 361-368, 1996.

KJAER, E. D.; SUANGTHO, V. **A review of the tree improvement plan for teak in Thailand**. Thailand: Royal Forest Department, Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1997.

KJAER, E. D.; SUANGTHO, V. Outcrossing rate of teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 44, n. 4, p. 175-177, 1995.

KOKUTSE, A. D.; ADJONOU, K.; KOKOU, K.; GBEASSOR, M. Problématique de la performance du teck de provenance tanzanienne par rapport au teck local en plantation au Togo. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 302, n. 4, p. 43-52, 2009.

KOKUTSE, A. D.; AKPENÈ, A. D.; MONTEUUIS, O.; AKOSSOU, A.; LANGBOUR, P.; GUIBAL, D.; TOMAZELLO, M. F.; GBADOE, E.; CHAIX, G.; KOKOU, K. Selection of plus trees for genetically improved teak varieties produced in Benin and Togo. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 328, n. 2, p. 55-66, 2016.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The Global Teak Study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KRISHNAN, R. M.; CHANDRIKA, K.; KARANTH, P. C.; BALAKRISHNA, G., SWAMINATH, M. H. Genetic differences among teak clones of Karnataka. **Myforest**, v. 35, n. 3, p. 231-236, 1999.

KYAW, N. N. The phenotypic characteristics of natural-grown teak in Myanmar. **Teaknet News**, v. 33, p. 3-5, 2004.

KUMAR, A. Genetic improvement of teak in India for growth and timber quality. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: https://teaknet.org/download/teaknet2014/Session%20II/conf_2.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

KUMAR, A.; GOGATE, M. G.; SHARMA, R.; MANDAL, A. K. Genetic evaluation of teak clones of Allapalli Region, Maharashtra. **The Indian Forester**, v. 123, n. 3, 1997.

KUMARAVELU, G. Clonal identification of *Tectona grandis* by isoenzyme studies. **The Indian Forest**, v. 105, p. 716-719, 1979.

JAIJING, D. **Variation on certain morphological characteristics and annual ring growth of *Tectona grandis* Linn f**. Bangkok: Kasetsart University, 1994. 125 p.

JAIN, A.; ROYCHOUDHURY, N.; SHARMA, S.; BHARGAVA, A.; PANT, N. C. Host plant resistance to insect-pests in teak (*Tectona grandis* L. f.) with reference to biochemical parameters. **Indian Journal of Forestry**, v. 21, n. 4, p. 285-289, 1998.

JAIN, A.; SINGH, A. K.; BANERJEE, S. K.; SHUKLA, P. K. Chemical screening of different clones of *Tectona grandis* in relation to resistance against their key defoliators. **Indian Journal of Florestry**, v. 25, n. 3-4, p. 254-273, 2002.

JAYASANKAR, S.; BABU, L. C.; SUDHAKARA, K.; DHANESH KUMAR, P. Evaluation of provenances for seedling attributes in teak (*Tectona grandis* Linn f.). **Silvae Genetica**, v. 48, n. 3-4, p. 115-122, 1999. Disponível em: https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1999/Vol._48_Heft_3-4/48_3-4_115.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

JAYAWARDANA, D. N.; AMARASEKERA, H. S. Effect of growth rate on wood quality of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations at Malsiripura, Kurunegala, Sri Lanka. **Vidyodaya Journal Science**, Golden Jublilee Issue, p. 149-170, 2009.

JESUS, J. G. de. **Avaliação da reação de genótipos de *Tectona grandis* à *Olivia neotectonae***. 2016. 18 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT. Disponível em: http://portal.unemat.br/media/files/jefersongoncalvesdejesus_AVALIACAO_DA_REACAO_DE_GENOTIPOS_DE_Tectona_grandis_A_Olivia_neotectonae.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

JESUS, J. G. de. **Caracterização da variabilidade patogênica dos isolados de *Ceratocystis fimbriata* em clone de *Tectona grandis* suscetível**. 2021. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, MT.

JIBKATE, N.; AYATE, D.; UJJAINKAR, V. V. Genetic variability studies in teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal of Farm Sciences**, v. 7, n. 5, p. 1-3, 2017. DOI: https://doi.org/10.5958/2250-0499.2018.00026.5.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

LARA, L. P. **Avaliação de resistência de teca a *Ceratocystis fimbriata***. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

LIMA, S. D. de. **Caracterização e diferenciação de clones de teca mediante o número de tricomas presentes nas folhas**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

LLANOS-MAYOR, L.F., BARRIOS, A. Y LÓPEZ, A.M. Variación genética en familias de polinización abierta de *Tectona grandis* L. f. en Colombia. **Colombia Forestal**, v. 22, n. 2, p. 30-43, 2019.

LORÍA, S. F. **Evaluación de parámetros genéticos de *Tectona grandis* Linn. a los 11 años de edad, em el Pacífico de Costa Rica**. 2018. 68 f. Trabajo final de graduación (Licenciatura em Ingeniería Forestal) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

LOZANO, V. B. **Evaluación temprana de tolerancia de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) a suelos ácidos**. 2010. 66 f. Trabajo final de carrera (Graduación em Ingeniería Técnica Forestal) - Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

LWIN, O.; HYUN, J. O.; YAHYA, A. F. Assessment of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) provenance tests in the Bago Yoma Region, Myanmar. **Journal of Korean Forest Society**, v. 99, n. 5, p. 686-692, 2010.

LYNGDOH, N.; JOSHI, G.; RAVIKANTH, G.; SHAANKER, R. U.; VASUDEVA, R. Influence of levels of genetic diversity on fruit quality in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Current Science**, v. 99, n. 5, p. 639-644, 2010.

LYNGDOH, N.; JOSHI, G.; RAVIKANTH, G.; VASUDEVA, R.; SHAANKER, R. U. Changes in genetic diversity parameters in unimproved and improved populations of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Karnataka state, India. **Journal of Genetics**, v. 92, n. 1, p. 141-145, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s12041-013-0226-2.

LYNGDOH, N.; VASUDEVA, R. A computer programme for identification of teak clones. **The Indian Forester**, v. 141, n. 3, p. 344-346, 2015.

MADDUGODA, P. Teak in Sri Lanka. In: WOOD, H. (ed.). **Teak in Asia**. Bangkok, Thailand: FORSPA, 1993. (FORSPA. FORSPA publication, 4).

MADOFFE, S. S.; CHAMSHAMA, S. A. O. Tree improvement in Tanzania. **Commonwealth Forestry Review**, v. 68, n. 2, p. 101-107, 1989.

MADOFFE, S. S.; MAGHEMBE, J. A. Performance of teak (*Tectona grandis* L.f.) provenances seventeen years after planting at Longuza, Tanzania. **Silvae Genetica**, v. 37, p. 175-178, 1988.

MAHMUD, M. A. A.; HOSSAIN, M. K. Fruiting potential and seedling growth performance of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) clones of Kaptai Seed Orchard Centre, Bangladesh. In: WORLD TEAK CONFERENCE, 2013, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: Teaknet, 2013. DOI: https://doi.org/10.13140/2.1.4637.2645.

MAROTO, J. L. **Fertilización con boro y análisis genéticos de los ensayos de teca (*Tectona grandis* L. f.) de MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua**. 2017. 59 f. Trabajo Final de Graduación (Licenciatura em Ingeniería Forestal) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

MARQUES, R. M.; MARTINEZ, D. T.; BETANCOURT, J. L. R.; ARRIEL, D. A. A.; CALDEIRA, S. F. Descritores morfológicos de frutos e inflorescências de clones de *Tectona grandis*. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., 2018, Cuaibá. **Anais** [...]. Cuiabá: UFMT, 2018.

MATA, V. C. da. **Variação da espessura de casca em *Tectona grandis***. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MATHAUDA, G. S. The All-India teak seed origin sample plot. **Indian Forester**, v. 80, n. 1, p. 10-23, 1954.

MATHEW, G.; KOSHY, M. P.; MOHANADAS, K. Preliminary studies on insect visitors to teak (*Tectona grandis* Linn f.) inflorescence in Kerala, India. **The Indian Forester**, v. 113, p. 61-64, 1987.

MATHEW, J.; VASUDEVA, R. Clonal variation for seed germination in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Current Science**, v. 84, n. 8, p. 1133-1136, 2003.

MATOS, F. S.; FREITAS, I. A. S.; SOUZA, B. R. de; LOPES, V. de A.; ROSA, V. do. Crescimento de plantas de *Tectona grandis* sob restrição hídrica. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 39, p. 14-21, 2018. DOI: https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.5284.

MEDINA, M. M. T. **Descripción morfológica de progenies de teca (*Tectona grandis*) de diferentes procedencias, a un año de instalado en campo definitivo, em Puerto Inca - Huánuco**. 2018. 130 f. Tesis (Graduacion Ingenieria Forestal) – Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

MESHRAM, P. B.; JOSHI, K. C.; SARKAR, A. K. Relative resistance of certain clones of *Tectona grandis* to teak leaf skeletonizer, *Eutectona machaeralis* Walk. (Lepidoptera - Pyralidae). **The Indian Forester**, v. 120, n. 1, p. 58-61, 1994.

MEUNPONG, P.; DILOKSUMPUN, S.; WACHRINRAT, C.; WATTANASUKSAKUL, S.; TANGMITCHAROEN. S. Evaluation of site-clones matching of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Thailand. **Thai Journal of Forestry**, v. 36, n. 2, p. 24-34, 2017.

MIN, Z. O.; LWIN, K. Growth performance of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) provenance trials established in Bago Yoma: evaluation in the 5th year after planting. In: ANNUAL RESEARCH CONFERENCE - FORESTRY SCIENCE, 2004, Yangon, Myanmar. **Proceedings** [...]. Yangon, Myanmar: Forest Department, 2004. p. 330-353.

MINN, Y.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic diversity and structure of teak (*Tectona grandis* L. f.) and dahat (Tectona hamiltoniana Wall.) based on chloroplast microsatellites and Amplified Fragment Length Polymorphism markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 63, p. 961-974, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-015-0293-8.

MINN, Y.; PRINZ, K.; FINKELDEY, R. Genetic variation of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) in Myanmar revealed by microsatellites. **Tree Genetics & Genomes**, v. 10, p. 1435-1449, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-014-0772-7.

MIRANDA, M. C. de. **Caracterização morfológica e avaliação do desenvolvimento inicial de clones de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MISHRA, S. C. Comparative natural resistance of different clones of *Tectona grandis* Lf. to teak skeletoniser *Eutectona machaeralis* Wlk. (Lepidoptera – Pyralidae). **The Indian Forester**, v. 118, n. 4, 1992.

MODI, J. S.; TANDEL, M. B.; PRAJAPATI, V. M.; AHIR, B. R. Morphological variations in teak (*Tectona grandis* L. f.) clones. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 273-276, 2018.

MOE, A. Z. Teak resource conservation in Myanmar. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/1.Aung%20Zaw%20Moe-Myanmar.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

MOLINA-QUESADA, S.; ALFARO, C.; MURILLO, O.; BADILLA, Y.; LUJÁN, R. Evaluación del comportamiento de clones de *Tectona grandis* L. f. en suelos vertisoles de la Península de Nicoya, Costa Rica. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 16, n. 38, p. 24-34, 2019.

MONTEUUIS, O.; GOH, D. K. S. Clones de teck – about the use of clones in teak. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, n. 261, v. 3, p. 28-38, 1999.

MONTEUUIS, O.; GOH, D. K. S.; GARCIA, C.; ALLOYSIUS, D.; GIDIMAN, J.; BACILIERI, R.; CHAIX, G. Genetic variation of growth and tree quality traits among 42 diverse genetic origins of *Tectona grandis* planted under humid tropical conditions in Sabah, East Malaysia. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, p. 1263-1275, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-011-0411-5.

MONTEUUIS, O.; GOH, D. K. S. Origin, and global dissemination of clonal material in planted teak forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. p. 30-36. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

MONTEUUIS, O.; GOH, D. K. S. Teak clonal forestry. **Teaknet Bulletin**, v. 11, n. 2, p. 2-13, 2018.

MOYA, R.; BERROCAL, A. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. **Annals of Forest Science**, v. 67, p. 109, 2010. DOI: https://doi.org/10.1051/forest/2009088.

MOYA, R.; CALVO-ALVARADO, J. Variation of wood color parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors. **Annals of Forest Science**, v. 69, p. 947-959, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-012-0217-0.

MOYA, R.; MARÍN, J. D. Grouping of *Tectona grandis* (L. f.) clones using wood color and stiffness. **New Forests**, v. 42, p. 329-345, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-011-9255-y.

MOYA, R.; MARÍN, J. D.; LENADRO, L. Wood physical properties, color, decay resistance and stiffness in *Tectona grandis* clones with evidence of genetic control. **Silvae Genetica**, v. 62, n. 3, p. 142-152, 2013. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2013-0019.

MULYADIANA, A.; TRIKOESOEMANINGTYAS, SIREGAR, I. Z. Evaluation of early growth performance of 41 clones of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) at four microsites in Purwakarta, Indonesia. **Journal of Forestry Research**, v. 31, p. 901-907, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-019-00878-0.

MURILLO, O.; RESENDE, M. D. V. DE; BADILLA, Y.; GAMBOA, J. P. Genotype by environment interaction and teak (*Tectona grandis* L.) selection in Costa Rica. **Silvae Genetica**, v. 68, p. 116-121, 2019. DOI: https://doi.org/10.2478/sg-2019-0020.

MURILLO, O.; WRIGHT, J.; MONTEUUIS, O.; MONTENEGRO, F. Mejoramiento genético de la teca en América Latina. In: CAMINO, R. DE; MORALES, J. P. (ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2013. p. 86-111. (CATIE. Série técnica. Informe técnico, 397).

MUSLIMIN, I.; SOFYAN, A.; ISLAM, S. Parameter genetik pada uji klon jati (*Tectona grandis* L. F) umur 5,5 tahun di Sumatera selatan. **Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan**, v. 7, n. 2, p. 97-106, 2013.

NAGARAJAN, B.; MOHANLAL, G. Teak seed production areas: what all factors may influence? **Teaknet Newsletter**, n. 6, p. 4, 1997.

NAGARAJAN, B, M.; VARGHESE, A.; NICODEMUS, K. R.; SASHIDHARAN, S. S. R.; BENNET; KANNAN, C. S. Reproductive biology of teak and its implications in tree improvement. In: DIETERS, M. J.; MATHESON, A. C.; NIKLES, D. G.; HARWOOD, C. E.; WALKER, S. M. (ed.). **Tree improvement for sustainable tropical forestry**: proceedings of the QFRI-IUFRO CONFERENCE, 1996, Caloundra, Australia. Caloundra, Australia: IUFRO, 1996, p. 244-248.

NARAYANAN, C.; CHAWHAAN, P. H.; MANDAL, A. K. Inheritance pattern of growth and wood traits in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 58, n. 3, p. 97-101, 2009. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2009-0013.

NARAYANAN, C.; WALI, S. A.; SHUKLA, N.; KUMAR, R.; MANDAL, A. K.; ANSARI, S. A. RAPD and ISSR markers for molecular characterization of teak (*Tectona grandis*) plus trees. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 19, n. 4, p. 218-225, 2007.

NAYAK, H.; SINHA, A.; BHOL, N.; KUMAR, J. Assessment of variation in planting stock quality of open pollinated seeds of teak clones. **Journal of Tree Sciences**, 35, n. 1, p. 39-45, 2016.

NAYAK, H.; SINHA, A.; BHOL, N.; KUMAR, J. Variation in productivity and progeny quality of some teak clones. **Progressive Research**: An International Journal, v. 12, Special 3, p. 2160-2164, 2017.

NICODEMUS, A.; NAGARAJAN, B.; NARAYANAN, C.; VARGHESE, M.; SUBRAMANIAN, K. RAPD variation in Indian teak populations and its implications for breeding and conservation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY TIMBER PRODUCTS OF TEAK FROM SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, 2003, Peechi, India. **Proceedings** [...]. India: Kerala Forest Research Institute, Japan: International Tropical Timber Organization, 2003. p. 321-330.

NICODEMUS, A.; VARGHESE, M.; NAGARAJAN, B.; LINDGREN, D. Annual fertility variation in clonal seed orchards of teak (*Tectona grandis* L. f.) and its impact on seed crop. **Silvae Genetica**, v. 58, p. 1-2, 2009. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2009-0011.

NOCETTI, M.; ROZENBERG, P.; CHAIX, G.; MACCHIONI, N. Provenance effect on the ring structure of teak (*Tectona grandis* L. f.) wood by X-ray microdensitometry. **Annals of Forest Science**, v. 68, p.1375-1383, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-011-0145-4.

NORLIA, B.; NORWATI, M.; NORWATI, A.; ROSLI, H. M.; NORIHAN, M. S. Isolation and characterization of LHY homolog gene expressed in flowering tissues of *Tectona grandis* (Teak). **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 9, p. 1302-1308, 2008.

NORWATI, A.; ABDULLAH, R.; NORLIA, B.; ROSLI, H. M.; NORWATI, M; SURYANI, S. A. Expression of bt gene in transgenic teak. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 4, p. 488-491, 2011.

NUNES, T. S.; ALEXANDRE, F. S.; FRATARI, J. P. S.; OLIVEIRA, M. L. F.; GONCALVES, I. S.; ALFENAS, R. F. Seleção precoce de clones de *Tectona grandis* resistentes à murcha-de-ceratocystis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 51., 2019, Recife. **Anais** [...]. Recife: UFRPE, 2019a.

NUNES, T. S.; BASTOS, H. B.; ALEXANDRE, F. S.; SANTOS, A. L. R.; OLIVEIRA, I. C.; GONCALVES, I. S.; ARRIEL, D. A. A.; ALFENAS, R. F. Avaliação da resistência à ferrugem causada por *Olivea neotectonae* em genótipos de teca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 51., 2019, Recife. **Anais** [...]. Recife: UFRPE, 2019b.

NURRUDIN, W. **Evaluasi uji klon jati (*Tectona grandis* L. f.) umur 3,5 tahun di hutan pendidikan wanagama gunung kidul**. 2013. Thesis - Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

NURTJAHJANINGSIH, I. L. G.; HERAWAN, T.; RACHMA, R. P.; RIMBAWANTO, D. A. Pengujian penanda random amplified polymorphism dna untuk mengetahui kestabilan genetik klon jati (*Tectona grandis*). **Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan**, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2018.

OLIVEIRA, C. A. da C. **Identificação de genótipos de teca resistentes à murcha de ceratocystis**. 2020. 45 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

OLIVEIRA, K. C. M. **Avaliação do número de urédias como fator de resitência a ferrugem em *Tectona grandis***. 2016. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

ONWIMOL, P.; CHANPRAME, S.; CHANPRAME, S. Agrobacterium-mediated transformation of Cry1Ab gene into *Tectona grandis* L. f. (Teak). **ISSAAS Journal**, v. 23, n. 1, p. 68-78, 2017.

PALANISAMY, K.; GIREESAN, K.; NAGARAJAN, V.; HEGDE, M. Selection and clonal multiplication of superior trees of teak (*Tectona grandis*) and preliminary evaluation of clones. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 2, p. 168-174, 2009.

PALANISAMY, K.; KRISHNAMOORTHY, M.; GIREESAN, K.; RAJASEKAR, S. Recent trends in teak improvement in India. **Teaknet Bulletin**, v. 3, n. 3, p. 2-8, 2010.

PALUPI, E. R.; OWENS, J. N. Pollination, fertilization, and embryogenesis of teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal of Plant Sciences,** v. 158, n. 3, p. 259-273, 1997. DOI: https://doi.org/10.1086/297437.

PALUPI, E. R.; OWENS, J. N. Reproductive phenology, and reproductive success of teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal Plant Science**, v. 159, n. 5, p. 833-842, 1998. DOI: https://doi.org/10.1086/297604.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasylva**, n. 51, p. 3-13, 2000.

PARTHIBAN, K. T.; SURENDRAN, C.; PARAMATHMA, M. Molecular characterization of teak seed sources using RAPD's. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY TIMBER PRODUCTS OF TEAK FROM SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, 2003, Peechi, India. **Proceedings** [...]. India: Kerala Forest Research Institute, Japan: International Tropical Timber Organisation, 2003. p. 331-337.

PATIL, R.; AYATE, D.; UJJAINKAR, V. V. Genetic variability studies in clonal population of teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal of Farm Sciences**, v. 6, n. 4, p. 136-139, 2016.

PATTANAIK, S.; SHIVA, K. Mating system and gene flow analysis within a clonal seed orchard of *Tectona grandis* L. f. using microsatellite markers. **The Indian Forester**, v. 143, n. 9, p. 894-900, 2017.

PEDERSEN, A. P.; HANSEN, J. K.; JMTIKA, J. M.; MSANGI, T. H. Growth, stem quality and age-age correlations in a teak provenance trial in Tanzania. **Silvae Genetica**, v. 56, n. 3-4, p. 142-148, 2007. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2007-0022.

PEREIRA, A. C.; ARRIEL, D. A. A. Estimativas de parâmetros genéticos em um teste clonal de *Tectona grandis*. 2019. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 27., 2019, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: UFMT,

PEREIRA, A. C. **Estimativa de parâmetros genéticos em um teste clonal de *Tectona grandis***. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2019.

PEREIRA, A. C.; PIROLLA, M. L. A., GONÇALVES, I., ARRIEL. D. A. A. Estimativas de parâmetros genéticos e seleção em um teste de progênies de meio irmãos de *Tectona grandis*. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS, 2020, Monte Carmelo. **Anais** [...]. Monte Carmelo: UFU, 2020. Disponível em: https://www.doity.com.br/anais/sicaa2020/trabalho/162481. Acesso em: 20 mar. 2020.

PERES FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. **A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. (Verbenaceae), no Estado de Mato Grosso**. Piracicaba: IPEF, 2006. 58 p.

PEROZO, A. S**eleção de primers SSR para auxiliar no processo de proteção de teca**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

PERSSON, A. Observation from a progeny trial of *Tectona grandis* Linn. f. at Longuza, Tanga Region. **Tanzania Silviculture Research Note**, n. 24, 1971a.

PERSSON, A. Observation from a provenance trial of *Tectona grandis* Linn. f. at Longuza, Tanga Region. **Tanzania Silviculture Research Note**, n. 22, 1971b.

PIANANURAK, C. Teak plus tree selection and its propagation techniques used in Thailand. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/3.Chumnun-RFD%20Thailand.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

PINTO JÚNIOR, J. E.; GARNICA, J. B.; IKEMORI, Y. K.; CAMINHOS JÚNIOR, E. Resultados de testes de procedências de *Tectona grandis*. **Boletim Informativo IPEF**, v. 9, v. 28, 1981. p. 46-48. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf28.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

PINTO JÚNIOR, J. E.; JACOB, W. S. Boletim informativo da região leste. **Boletim Informativo IPEF**, v. 7, v. 23, 1979. 56 p. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf23.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

PIOT, J. Essai de 10 provenances de teck en Haute-Volta. In: WORLD CONSULTATION OF FOREST TREE BREEDING, 3., v. 1, 1977, Canberra. **Proceedings** [...]. Canberra: CSIRO, 1977. p. 233-236.

PONCIONI, F. A. **Caracterização molecular de clones de *Tectona grandis* por meio de marcadores ISSR**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

PRACIAK, A.; PASIECZNIK, N.; SHEIL, D.; VAN HEIST, M.; SASSEN, M.; CORREIA, C. S.; DIXON, C.; FYSON, G.; RUSHFORD, K.; TEELING, C. (ed.). **The CABI encyclopedia of forest trees**. Oxfordshire: CABI, 2013. 523 p.

PRADHAN, T. R.; BHOL, N.; LENKA, D.; BEHERA, M. K. Productivity of selected teak clones in a clonal seed orchard. **The Bioescan**, v. 12, n. 1, p. 259-263, 2017.

PRASETYAWATI, C. A.; A'IDA, N. Morphological characterization of diferent provenances of teak (*Tectona grandis* L. f.). **IOP Conference Series**: Earth and Environmental Science, v. 308, n. 1, p. 012062, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012062.

PRASETYO, E.; WIDIYATNO; INDRIOKO, S.; NA'IEM, M.; MATSUI, T.; MATSUO, A.; SUYAMA, S.; TSUMURA, Y. Genetic diversity, and the origin of commercial plantation of Indonesian teak on Java Island. **Tree Genetics & Genomes**, v. 16, n. 34, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-020-1427-5.

PREHATEN, D.; INDRIOKO, S.; HARDIWINOTO, S.; NA'IEM, M.; SUPRIYO, H. Pengaruh beberapa karakteristik kimia dan fisika tanah pada pertumbuhan 30 famili uji keturunan jati (*Tectona grandis*) umur 10 tahun. **Jurnal Ilmu Kehutanan**, v. 12, p. 52-60, 2018.

PRIYOWIBOWO, R. F. **Evaluasi pertumbuhan 31 klon jati (*Tectona grandis* L. f) umur 19 bulan Petak 17 Wanagama I**. 2018. Thesis - Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

PROTECA. **Teca clonal**: a genética a favor de sua floresta. Disponível em: https://proteca.com.br/teca-clonal/?lang=pt. Acesso em: 20 mar. 2021.

PURUSHOTTAM, A. D.; KAPSE, N. K.; UJJAINKAR, V. V. Trait relatedness studies for stem volume production in teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 103-10, 2014.

PUSPITASARI, D.; MARSOEM, S. N.; HERWANTO, H.; PRAMUDITA, A.; ERNANINGSIH, Y.; SISWAMARTANA, S. Assessment of wood quality of 10-year-old teak from progeny trials in Java. **Teaknet Bulletin**, v. 3, n. 3, p. 6-8, 2010.

QUEIROZ, M. de M. **Diversidade e estrutura genética de clones e populações seminais de teca no estado de Mato Grosso**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RANCE, W.; MONTEUUIS, O. Teak in Tanzania I. Overview of the context. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, v. 1, n. 279, 1-6 p., 2004.

RAO, P. S.; VENKAIAH, K.; MURALI, V.; MURT, S. S. N.; SATTAR, S. A evaluation of international teak provenance plot trial in Índia. **The Indian Forester**, v. 127, n. 4, p. 415-422, 2001.

RASMUSSON, D. C.; PHILLIPS, R. L. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. **Crop Science**, v. 37, n. 2, p. 303-310, 1997. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020001x.

RAWAT, M. S.; UNIYAL, D. P., SHARMA, S. L. Identification of provenances based on leaf morphology in *Tectona grandis*. **The Indian Forester**, v. 124, p. 248-251, 1998.

REATEGUI-BETANCOURT, J. L.; ARRIEL, D. A. A.; CALDEIRA, S. F.; HIGA, A. R.; FLÔRES-JUNIOR, P. C.; PALMA-ARAUJO, S.; MARQUES, R. M.; CORRÊA, B. M. B.; MARTINEZ, D. T. Morphological descriptors for the characterization of teak clones (*Tectona grandis* L. f.) in plantations. **Forest Systems**, v. 29, p. eRC02, 2020. DOI: https://doi.org/10.5424/fs/2020292-15634.

REATEGUI, J. L.; MARQUES, R. M.; FLÔRES-JÚNIOR, P. C.; MARTINEZ, D. T.; CALDEIRA, S. F.; ARRIEL, D. A. A. Descritores morfológicos mínimos para diferenciar mudas clonais de *Tectona grandis* L. f. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 10., 2018, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2018.

RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 130 p.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 560 p.

RESENDE, M. D. V. de. **SELEGEN REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359 p.

RESENDE, M. D. V. Seleção precoce no melhoramento genético florestal. In: WORKSHOP MÉTODOS DE SELEÇÃO, 1., 1994, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: Sociedade Investigações Florestais, 1994. p. 58-72.

RIMBAWANTO, A. Indonesia's teak resources, breeding, and biotechnology. Centre for Forest Biotechnology and Tree Improvement Yogyakarta, Indonesia. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/Centre%20for%20Forest%20Biotechnology%20and%20Tree%20Improvement%20%2C%20Indonesia.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

ROYCHOUDHURY, N.; CHOURASIA, M.; MISHRA, R. K. Field screening for non-oreference resistance in some teak clones of Madhya Pradesh to major insect pests, *Hyblaea puera* and *Eutectona machaeralis*. **Peslogy**, v. 44, n. 1, p. 34-37, 2020a.

ROYCHOUDHURY, N.; CHOURASIA, M.; MISHRA, R. K. Leaf flushing behaviour of teak clones of Madhya Pradesh, India. **Plants and Environment**, v. 2, n. 1, p. 13-30, 2020b. DOI: https://doi.org/10.22271/2582-3744.2020.mar.13.

ROYCHOUDHURY, N. Deployment of resistance in teak to key insect pests. **The Indian Forester**, v. 138, n. 2, p. 123-130, 2012.

ROYCHOUDHURY, N.; JOSHI, K. C. Research for natural resistance in teak clones against *Eutectona machaeralis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Indian Journal of Forestry**, v. 19, n. 3, p. 205-213, 1996.

SADONO, R. Determining competition level for high genetic value of teak (*Tectona grandis* L. f) aged 6 to 11 years in Madiun Forest District, East Java, Indonesia. **Advances in Environmental Biology**, v. 8, n. 17, p. 750-756, 2014.

SADONO, R. Effects of competition on the crown width allometry for dominant trees on good sites of vegetative clonal teak (*Tectona grandis* Linn. f.) in Java, Indonesia. **Jurnal Manajemen Hutan Tropika**, v. 25, n. 2, 2019. DOI: https://doi.org/10.7226/jtfm.25.2.104.

SADONO, R.; NIRWANAWATI, A.; MURDJOKO, A.; SANTOSA, A. B.; RACHMAN, I. Growing space estimation of teak through dominant family approach at progeny trial in Ngawi Forest District. **Advances in Environmental Biology**, v. 8, n. 5, p. 1890-1896, 2014.

SALIS, U. G. **Tren parameter genetik uji keturunan *Tectona grandis* L. f. sampai umur 6 tahun di playen, Gunung Kidul, Yogyakarta**. 2013. Thesis - Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

SANQUETTA, M. N. I; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; BEHLING, A. Incremento diamétrico e percentuais de cerne e de casca em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no sudeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1946-1954, 2014.

SCHÜHLI, G. S.; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário nacional da silvicultura de teca (*Tectona grandis* L. f.) e perspectivas de melhoramento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217-230, 2010. DOI: https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.63.217.

SEGURA, F. U. M. **Comportamiento de clones de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) a los 4,5 años en Upala, Zona Norte de Costa Rica**. 2017. 91 f. Trabajo final de graduación (Licenciatura en Ingeniería Forestal) - Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

SETT, R.; MISHRA, J. P.; RANA, P. K. Seed production of teak in different orchards of central India: the present scenario. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 5, n. 3, p. 969-990, 2016.

SHARMA, R.; SWAIN, D.; MANDAL, A. K. Estimates of genetic parameters from an open pollinated genetic test of teak (*Tectona grandis*). **Journal of Tropical Forest Science**, v. 12, n. 1, p. 44-48, 2000.

SHARMA, S. L.; RAWAT, M. S. Genetic improvement of teak (*Tectona grandis*) in Forest Research Institute: an overview. **The Indian Forester**, v. 124, n. 8, p. 633-636, 1998.

SHWE, K. P. P.; LWIN, O.; MU, T. T. **Comparative study on variation of plus trees collected from five forest reserves in Let Pan Khon**. Myanmar: Forest Department, 2015. 17 p. (Forest Research Institute. Leaflet, 15).

SHRESTHA, M. K; VOLKAERT, H.; STRAETEN, D. V. D. Assessment of genetic diversity in *Tectona grandis* using amplified fragment length polymorphism markers. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 1017-1022, 2005. DOI: 10.1139/X05-033.

SHUKLA, S. R.; RAO, R. V.; SHASHIKALA, S.; KUMAR, P.; SHARMA, S. K. Wood quality variation in *Tectona grandis* (teak) clones from CSO raised at Maredumilli (Rajahmundry), Andhra Pradesh. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 8, n. 2, p. 116-119, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13196-012-0045-8.

SILVA, G. V. B. da. **Desenvolvimento tecnológico e inovação na cultura da teca**: avaliação da variabilidade genética entre genótipos utilizando marcadores moleculares ISSR. 2020. Iniciação Científica (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

SILVA, K. M. N. E.; ARRIEL, D. A. A. Fenologia de *Tectona grandis* no Mato Grosso. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 27., 2019, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: UFMT, 2019.

SILVA, K. M. N. E.; ARRIEL, D. A. A. Viabilidade e conservação do grão de pólen de teca (*Tectona grandis*). In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., 2018, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: UFMT, 2018.

SILVA, D. F. da; SANSON, C. S. L.; SANTOS, M. G.; SANTOS, D. M. dos; CALDEIRA, S. F. Excentricidade da medula em caules de clones de teca em sistema agrossilvipastoril. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBCTEM, 2017. Disponível em: https://proceedings.science/cbctem/papers/excentricidade-da-medula-em-caules-de-clones-de-teca-em-sistema-agrossilvipastoril. Acesso em: 20 mar. 2021.

SIQUEIRA, T. A. da S. **Método para estimar a área foliar de clones de teca plantados no sudoeste de Mato Grosso**. 2015. (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SIVAKUMAR, V.; PARTHIBAN, K. T.; SINGH, B. G.; GNANAMBAL, V. S.; ANANDALAKSHMI, R.; GEETHA, S. Variability in drupe characters and their relationship on seed germination in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 51, n. 5-6, p. 232-237, 2002.

SOFYAN, A.; NA'IEM, M.; INDRIOKO, S. Perolehan genetik pada uji klon jati (L. f.) umur 3 tahun di khdtk kemampo, Sumatera Selatan. **Jurnal Penelitian Hutan Tanaman**, v. 8, n. 3, p. 179-186, 2011.

SOLÓRZANO-NARANJO, S. S.; MOYA, R.; CHAUHAN, S. Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L. f. clones. **Silvae Genetica**, v. 61, n. 1-2, p. 58-65, 2012. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2012-0008.

SOLÓRZANO, S.; MOYA, R.; MURILLO, O. Early prediction of basic density, shrinking, presence of growth stress, and dynamic elastic modulus based on the morphological tree parameters of *Tectona grandis*. **Journal Wood Science**, v. 58, p. 290-299, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-012-1261-y.

SONTIKUN, Y.; CHANPRAME, S.; SRINIVES, P.; CHANPRAME, S. Optimization of transient β-glucuronidase (gus) gene expression in teak (*Tectona grandis* L. f.) by *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation system. **ISSAAS Journal**, v. 19, n. 2, p. 49-57, 2013.

SREEKANTH, P. M.; BALASUNDARAN, M. Clonal seed orchard of teak (*Tectona grandis* L. f.): genetic diversity measures primary basis for future environmental uncertainty. **Tree Genetics and Molecular Breeding**, v. 3, n. 2, p. 4-11, 2013. DOI: https://doi.org/10.5376/tgmb.2013.03.0002.

SREEKANTH, P. M.; BALASUNDARAN, M.; NAZEEM, P. A. Genetic and morphological variation in natural teak (*Tectona grandis*) populations of the Western Ghats in Southern India. **Journal of Forestry Research**, v. 25, n. 4, p. 805-812, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-014-0528-0.

SUBRAMANIAN, K.; SEETHALAKSHMI, T. S. A preliminary note on pollen in teak in relation to fruit-set. **The Indian Forester**, v. 110, p. 1023-1029, 1984.

SUHAENDI, H. Country report, Indonesia. In: ASIA PACIFIC REGIONAL WORKSHOP ON TREE BREEDING AND PROPAGATION, 1990, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: UNDO/FAO, 1990.

SUHAENDI, H. Teak improvement in Indonesia. In: KASHIO, M.; WHITE, K. (ed.). Teak for the future. REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1995, Yangon, Myanmar. **Proceedings** [...]. Yangon, Myanmar: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 1998. p. 179-188.

SUKSILEUNG, P.; CHUNTANAPARB, L.; KHEMNARK, C.; SRIWATANAPONGE, S. Clonal variation and inheritance in growth characteristics of teak (*Tectona grandis* L.). **The Kasetsart Journal**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 1975.

SUMARDI, S. Fertility variation and effective population size in a teak clonal seed orchard. **Indonesian Journal of Forest Research**, v. 8, n. 1, p. 66-79, 2011. DOI: https://doi.org/10.20886/ijfr.2011.8.1.65-78.

SURENDRAN, T. **Growth of field planted teak clones at Karulai**. Thrissur: Kerala Forest Research Institute, 2014. 20 p. (Kerala Forest Research Institute. KFRI Research Report, 485). Disponível em: http://docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR485.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

SWAIN, D. Genetic analysis in teak (*Tectona grandis*). **Journal of Tropical Forest Science**, n. 11, v. 3, p. 582-586, 1999.

SWAIN, D.; MOHANTY, S. C.; SHARMA, R.; MANDAL, A. K.; GUPTA, B. N. Preliminary analysis of quantitative characters in teak. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 62, n. 2, p. 169-172, 1996.

TANI, T.; TANGMITCHAROEN, S.; HIMMAPAN, W.; WATTANASUKSAKUL, S.; PROMPEN, B.; VOLKAERT, H.; UCHIYAMA, K. MATSUO, A. SUYAMA, Y. Genetic diversity, and DNA barcoding of teak in the Mekong for improvements of growth and wood quality. In: REGIONAL WORKSHOP ON “ENHANCING

THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/Japan%20International%20Research%20Center%20for%20Agricultural%20Sciences.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

TANGMITCHAROEN, S. **A manual** - technique for controlled hand-pollination of teak (*Tectona grandis* L. f.). Thailand: ASEAN – Forest Tree Seed Centre Project, 1997. 23 p. Disponível em: https://www.forest.go.th/plantationexpert/wp-content/uploads/sites/122/2021/01/Manual_Control_Pollination.pdf. }Acesso em: 20 mar. 2021.

TANGMITCHAROEN, S. Conservation approaches of teak (*Tectona grandis* L. f.) genetic resources in Thailand. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/Dr.%20Suwan-%20RFD%20Thailand.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

TANGMITCHAROEN, S.; OWENS, J. N. Floral biology, pollination, pistil receptivity, and pollen tube growth of teak (*Tectona grandis* Linn f.). **Annals of Botany**, n. 79, p. 227-241, 1997a. DOI: https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0317.

TANGMITCHAROEN, S.; OWENS, J. N. Pollen viability and pollen-tube growth following controlled pollination and their relation to low fruit production in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Annals of Botany**, v. 80, p. 401-410, 1997b. DOI: https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0440.

TANGMITCHAROEN, S.; TAKASO; T.; SIRIPATANADILOX, S.; TASEN; W. Behaviour major insect pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.): a comparison of clonal seed orchard versus wild. **Forest Ecology and Management**, v. 222, n. 1, p. 67-74, 2006a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.041.

TANGMITCHAROEN, S.; TAKASO; T.; SIRIPATANADILOX, S.; TASEN; W. Insect biodiversity in flowering teak (*Tectona grandis* L. f.) canopies: comparison of wild and plantation stands. **Forest Ecology and Management**, v. 222, n. 1, p. 99-107, 2006b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.040.

TANGMITCHAROEN, S; TASEN, W.; OWENS, J. N.; BHODTHIPUKS, J. Fruit set as affected by pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.) at two tree spacings in a seed orchard. **Songklanakarin Journal Science Technology**, v. 31, n. 3, p. 255-259, 2009.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M.; OKUYAMA, T. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 51-54, 2006.

THWE-THWE-WIN; HIRAO, T.; WATANABE, A.; GOTO, S. Current genetic structure of teak (*Tectona grandis*) in Myanmar based on newly developed chloroplast single nucleotide polymorphism and nuclear simple sequence repeat markers. **Tropical Conservation Science**, v. 8, n. 1, p. 235-256, 2015. DOI: https://doi.org/10.1177/194008291500800118.

TRIPATHI, A. M.; YADAV, A.; SAIKIA, S. P.; ROY, S. Global gene expression pattern in a forest tree species, *Tectona grandis* (Linn. f.), under limited water supply. **Tree Genetics & Genomes**, v. 13, n. 66, p. 1-12, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-017-1151-y.

TRISURAT, Y. Teak distributions under land use and climate change and conservation implication in the Mekong. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/Kasetsart%20University%2C%20Thailand.pdf. Acesso: 11 set. 2020.

VAISHNAV, V.; ANSARI, S. A. Genetic differentiation, and adaptability of teak (*Tectona grandis* L. f.) meta-population in India. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 36, p. 564-575, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11105-018-1101-3.

VAISHNAV, V.; MAHESH, S.; KUMAR, P. ANSARI, S. A. Polymorphism of microsatellites designed from expressed sequence tags of dicot/monocot carbonic anhydrases in teak (*Tectona grandis*L.f.) genome. **The Indian Forester**, v. 143, n. 12, p. 1260-1264, 2017.

VAISHNAV, V.; WALI, S. A.; TRIPATHI, S. B.; NEGI, M. S., ANSARI, S. A. A preliminary investigation on AFLP marker-wood density trait association in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Annals of Forest Research**, v. 61, n. 1, p. 49-63, 2018. DOI: https://doi.org/10.15287/afr.2018.1018.

VARGHESE, M.; KAMALAKANNAN, R.; NICODEMUS, A.; LINDGREN, D. Fertility variation and its impact on seed crops in seed production areas and a natural stand of teak in southern India. **Euphytica**, v. 160, p. 131-141, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-007-9591-3.

VARGHESE, M.; NICODEMUS, A.; NAGARAJAN, B.; LINDGREN, D. Impact of fertility variation on gene diversity and drift in two clonal seed orchards of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **New Forests**, v. 31, p. 497-512, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-005-2178-8.

VÁSQUEZ, R. Y. P. **Evaluación de ensayos genéticos de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica y Panamá, empresa Brinkman y Asociados Reforestadores de Centroamérica S.A**. 2016. 88 f. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Forestal) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VASUDEVA, R.; HANUMANTHA, M.; GUNAGA, R. P. Genetic variation for floral traits among teak (*Tectona grandis* Linn. f.) clones: implications to seed orchard fertility. **Current Science**, v. 87, n. 3, p. 358-362, 2004.

VENKATESH, C. S.; KOSHY, M. P.; CHACKO, K. C.; INDIRA, E. P. **Genetic improvement of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Kerala**. Peechi, Thrissur: Kerala Forest Research Institute, 1986. 28 p.

VERHAEGEN, D.; FOFANA, I. J.; LOGOSSA, Z. A.; OFORI, D. What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis* L.) introduced in Africa and in Indonesia? **Tree Genetics & Genomes**, v. 6, p. 717-733, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0286-x.

VERHAEGEN, D.; OFORI, D.; FOFANA, I.; POITEL M.; VAILLANT, A. Development and characterization of microsatellite markers in *Tectona grandis* (Linn. f). **Molecular Ecology Notes**, v. 5, n. 4, p. 945-947, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01124.x.

VERMA, R. K.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. Comparative physiomorphological performance of half-sib seedlings of ten teak clones under suboptimal and optimal arbuscular mycorrhizal colonization. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 13, n. 3, p. 423-433, 2001.

VIANA, E. H. de S. **Caracteres morfológicas precoces para a diferenciação de genótipos de teca**. 2020. Iniciação Científica (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

VINUTHA, C. S.; JAVAREGOWDA. Morphological characterization of teak (*Tectona grandis* L. f.) clones of Karnataka for resistance traits to teak defoliator, Hyblaea puera Cramer. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, v. 27, n. 3, p. 367-369, 2014.

XAVIER, A.; DA SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010. DOI: https://doi.org/10.15517/rac.v34i1.6702.

WARDANI, B. W. **Evaluasi uji klon jati (*Tectona grandis* L. f.) umur 9 tahun di KPH Ciamis dan KPH Cepu Perum Perhutani**. 2008. Thesis - Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

WATTANASUKSAKUL, S. Controlled pollination of teak. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/2.Saroj%20-RFD%20Thailand.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

WEHR, J. B.; BLAMEY, F. P.; SMITH, T.; MENZIES, N. Growth, and physiological responses of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) clones to Ca, H and Al stresses in solution and acid soils. **New Forests**, v. 48, p. 137-152, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-016-9560-6.

WEHR, J. B.; SMITH, T.; BLAMEY, F. P.; MENZIES, N. Aluminum sensitivity and optimum Ca and pH requirement of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) clones used for forestry plantations in Australia. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD, 19., 2010, Brisbane, Australia. **Proceedings** [...]. Brisbane, Australia: International Union of Soil Sciences; Australian Society of Soil Science, 2010. p. 18-21.

WELLENDORF, H.; KAOSA-ARD, A. Teak improvement strategy in Thailand. **Forest Tree Improvement**, v. 21, p. 1-43, 1988.

WIDIYANTO, S. N.; SUKMAWAN, A.; HARO, N.; RAHMANIA, H. Transient expression of b-glucuronidase reporter gene in *Agrobacterium*-inoculated shoots of various teak clones. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 10, p. 2143-2150, 2009. DOI: https://doi.org/10.4314/ajb.v8i10.60520.

WIDYATMOKO, A. Y. P. B. C.; SHIRAISHI, S. Development of SCAR markers for identification of teak clones. **AIP Conference Proceedings**, v. 2120, 030001-7, 2019. DOI: https://doi.org/10.1063/1.5115605.

WIN, T. T. Genetic resources of teak in Myanmar detected by cpSNP and nSSR markers. In: REGIONAL WORKSHOP ON "ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION", 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/University%20of%20Forestry%20and%20Environmental%20Science%2C%20Myanmar.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

WYATT-SMITH, J. Provenance, and progeny trials of teak in northwest Malaya. **Malayan Forester**, v. 24, n. 2, p. 126-131, 1961.

YASODHA, R.; VASUDEVA, R.; BALAKRISHNAN, S.; SAKTHI, A. R.; ABEL, N.; BINAI, N.; RAJASHEKAR, B.; BACHPAI, V. K. W.; PILLAI, C.; DEV, S. A. Draft genome of a high value tropical timber tree, teak (*Tectona grandis* L. f.): insights into SSR diversity, phylogeny, and conservation. **DNA Research**, v. 25, n. 4, p. 409-419, 2018. DOI: https://doi.org/10.1093/dnares/dsy013.

ZENG, B.; QIU, Z.; LI, X.; LIU, Y. Genetic transformation of teak callus mediated by *Agrobacterium tumefeciens* strain EHA105. **Journal of Fujian College of Forestry**, v. 27, n. 4, p. 349-354, 2007.

ZENG, B.; QIU, Z.; LI, X.; LIU, Y. Genetic transformation of teak callus mediated by *Agrobacterium tumefeciens* strain LBA4404. **Journal of Central South University of Forestry & Technology**, 2008.

ZHAO, D.; HAMILTON, J. P.; BHAT, W. W.; JOHNSON, S. R.; GODDEN, G. T.; KINSER, T. J.; BOACHON, B.; DUDAREVA, N.; SOLTIS, D. E.; SOLTIS, P. S.; HAMBERGER, B.; BUELL, C. R. A chromosomal-scale genome assembly of *Tectona grandis* reveals the importance of tandem gene duplication and enables discovery of genes in natural product biosynthetic pathways. **GigaScience**, v. 8, p. 1-10, 2019. DOI: https://doi.org/10.1093/gigascience/giz005.

ZUCARELLI, N. C. **Frequência de infecção de *Olivea tectonae* em genótipos de teca**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.



5

Polinização controlada em teca, para fins de melhoramento genético

Fabricio Antonio Biernaski
Teotônio Francisco de Assis

Introdução

Os primeiros programas de melhoramento genético de *Tectona grandis* L. f. (teca) foram iniciados na Ásia com o estabelecimento de áreas de produção de sementes a partir de talhões nativos e plantados, seguindo para a seleção massal de árvores matrizes e estabelecimento de pomares clonais de sementes, sendo que a baixa produção de sementes destas áreas é amplamente reportada (Keiding, 1966; Kaosa-Ard, 1998a; Kaosa-Ard et al., 1998; Palanisamy et al., 2008, 2010). Visando o aumento dos ganhos genéticos, na década de 1980, teve início a utilização da cultura de tecidos em laboratório, para a multiplicação de clones superiores em escala (Kaosa-Ard; Apavatjarut, 1988,1989), em seguida os trabalhos de clonagem por enraizamento de miniestacas em viveiro começaram, com a finalidade de redução dos custos operacionais (Palanisamy; Subramanian, 2001; Palanisamy et al., 2008).

Com o advento das tecnologias de clonagem, os programas de melhoramento genético de teca têm se voltado ao desenvolvimento de clones superiores para a silvicultura clonal, sendo que os pomares são utilizados para recombinação genética, via polinização aberta e controlada (Tangmitcharoen, 1997; Wattanasuksakul, 2019). O presente capítulo discorre sobre a polinização controlada em teca, visando à recombinação de matrizes selecionadas para geração de variabilidade genética e seleção de clones superiores.

Pomares de teca

A utilização de pomares para produção de sementes de teca é uma estratégia utilizada desde os primeiros programas de melhoramento genético. Grandes extensões de pomares foram instaladas nos países asiáticos, a partir da década de 1960, sendo relatados 5.000 ha de áreas de produção de sementes (APS) e 1.000 ha de pomares clonais de sementes (PCS) na Índia (Palanisamy et al., 2010), enquanto na Tailândia há relatos de 1.830 ha de PCS (Kaosa-Ard et al., 1998). As APSs são estabelecidas a partir da seleção fenotípica de árvores e desbaste de talhões selecionados, enquanto os PCSs são estabelecidos a partir da enxertia via borbulhia de matrizes selecionadas (Keiding, 1966). Devido à baixa produção de sementes por árvore em teca, os pomares necessitam de áreas extensas, o que dificulta a utilização da estratégia de produção operacional de sementes melhoradas geneticamente (Figura 1).



Foto: Fabricio Antonio Biernaski

Figura 1. Área de produção de sementes (APS) de teca, na estação da seca, no estado de Mato Grosso, Brasil.

Segundo Kaosa-Ard (1998a), estima-se que, para o plantio de 1.000 ha anuais de teca na Ásia, no espaçamento de 4 m x 4 m e de 3 m x 3 m, seria necessário o estabelecimento de 120-214 ha de PCS, respectivamente, pois, além da baixa produção de sementes dos pomares, os viveiros asiáticos utilizavam baixa tecnologia, apresentando taxa de conversão de sementes em mudas de apenas 5%. O levantamento realizado por Kaosa-Ard (1998b) apresenta resultados que variam de 0,2-6,5 kg de produção de sementes por ramete de pomares clonais de sementes. Ao se considerar uma produção modesta de 0,5 kg de sementes por ramete, em um pomar clonal com 100 árvores ha^{-1}, 2.000 sementes kg^{-1} e 50% de germinação em viveiro, 10 ha de PCS teriam capacidade de fornecer sementes para o plantio anual de aproximadamente 550 ha no espaçamento de 3 m x 4 m (considerando-se taxa de 10% de replantio).

Para a estratégia de recombinação genética, via polinização controlada, os pomares clonais podem apresentar tamanhos reduzidos, sendo que o objetivo não é fornecer sementes em larga escala, mas sim o suficiente para a instalação de testes de progênies e posterior seleção de árvores para o estabelecimento de testes clonais. Deve-se escolher um local de instalação do pomar próximo às estruturas de apoio, uma vez que os trabalhos de polinização controlada são bastante intensivos. O espaçamento entre as árvores deve ser amplo para permitir boa produção de sementes, sendo também importante a aplicação de boas práticas silviculturais de preparo de solo, adubação e controle de mato-compertição (Figuras 2 e 3).



Foto: Fabrício Antonio Biernaski

Figura 2. Árvore matriz selecionada e enxerto de teca realizado pela técnica de borbulhia.



Figura 3. Pomar clonal de teca no estado de Mato Grosso, Brasil.

Polinização controlada em teca

Os estudos de polinização controlada em teca foram iniciados no Teak Improvement Center (TIC) da Tailândia, utilizando isolamento de inflorescências, emasculação e aplicação de pólen fresco nos estigmas (Bryndum; Hedegar, 1969). Diversos trabalhos foram publicados ao longo das décadas seguintes, porém, devido às características dessa espécie, as metodologias permanecem praticamente inalteradas (Tangmitcharoen, 1997; Wattanasuksakul, 2019).

Árvores de teca produzem de dezenas a centenas de inflorescências e, segundo Wattanasuksakul (2019), cada inflorescência pode produzir entre 5.000-8.000 flores, sendo que o florescimento e a receptividade da inflorescência duram entre 40-90 dias, mas cada flor permanece aberta e receptiva por apenas um dia, com fertilização ocorrendo

entre às 11h da manhã e 14h da tarde, apresentando uma taxa média de produção de frutos por polinização natural de apenas 1,3% e taxa média de produção de frutos, via polinização controlada, de 7,7%. Cada fruto possui entre uma a quatro sementes, sendo que a baixa taxa de produção de frutos é reportada em diversos trabalhos (Hedegart, 1973; Tangmitcharoen; Owens, 1997; Indira; Mohanadas, 2002; Tangmitcharoen et al.,2009; Wattanasuksakul, 2019).

No estado de Mato Grosso, a floração da teca ocorre na estação das chuvas entre novembro a janeiro, apresentando maior intensidade em dezembro, sendo que em junho e julho ocorre a queda dos frutos maduros das árvores, na estação da seca (Figuras 4, 5 e 6).



Foto: Fabricio Antonio Biernaski

Figura 4. Floração da teca, demonstrando os diversos estágios em uma mesma inflorescência: botões florais fechados, botões florais abertos receptivos e frutos em diferentes estágios de formação.



Figura 5. Detalhe da antese de flor da teca com estigma receptivo e estames com pólens maduros, em segundo plano outros botões florais ainda fechados.



Figura 6. Flor da teca sendo forrageada/polinizada por inseto.

Fotos: Fabricio Antonio Biernaski

Devido à floração ser abundante em árvores matrizes de teca, os trabalhos de polinização controlada são realizados em pomares no campo. O acesso às inflorescências pode ser realizado com a montagem de andaimes ao lado das matrizes de interesse ou mediante outro procedimento apropriado, dependendo da situação. Outras metodologias podem ser testadas, como a manutenção de matrizes em baixa altura por meio de podas (o que, em geral, reduz bastante a produção de inflorescências), condução de galhos por amarração em baixa altura, com auxílio de estruturas semelhantes ao cultivo de frutíferas e avaliação da possibilidade de plantio dos enxertos em vasos, com uso de hormônios para a indução de florescimento. Como cada inflorescência possui milhares de botões florais, mas somente uma fração se torna receptiva a cada dia, é necessário trabalhar realizando polinizações controladas por vários dias consecutivos, em uma mesma inflorescência.

Em primeiro lugar, deve-se fazer o acompanhamento do desenvolvimento das inflorescências das matrizes de interesse, sendo necessário realizar o isolamento das inflorescências logo no início da abertura das primeiras flores. O isolamento deve ser realizado com uma estrutura que sustente uma tela com malha bem fina (tecido voal, por exemplo), com a finalidade de impedir o acesso de insetos polinizadores (Figuras 7 e 8). No momento do

isolamento, as flores abertas ou que já passaram pelo processo de florescimento nos dias anteriores devem ser retiradas, com a utilização de uma tesoura. Outras inflorescências que estejam em posição acima da inflorescência isolada devem ser retiradas, também para evitar contaminações com pólen indesejado.



Figura 7. Andaime utilizado para acesso às inflorescências de teca e inflorescências isoladas para evitar acesso de insetos polinizadores.



Fotos: Fabricio Antonio Biernaski

Figura 8. Inflorescências da teca isoladas para evitar acesso de insetos polinizadores.

Embora a espécie apresente inflorescências abundantes e milhares de flores em cada inflorescência, diariamente somente uma pequena fração das flores da inflorescência apresenta antese, com período ideal de receptividade do estigma e máxima maturação de pólen entre 11 h da manhã e 14 h da tarde. Esta característica, aliada à pequena quantidade de pólen por flor, entre outros pontos, tornaram a técnica de utilização de pólen fresco, para a polinização controlada, uma estratégia para contornar as dificuldades impostas pelas características intrínsecas da fenologia e da morfologia da espécie. Existem também estudos visando à coleta, ao beneficiamento e ao armazenamento de pólen, tendo em vista a utilização em polinizações controladas, como apresentado no trabalho de Hine et al. (2019).

No dia seguinte, após o isolamento das inflorescências, pode-se iniciar o processo de polinização controlada. O trabalho inicia logo após o amanhecer, quando a antese acontece. Entre 6 h e 8 h da manhã, deve-se abrir a tela do isolamento da inflorescência e realizar a emasculação, retirando os estames com uma tesoura de ponta fina ou uma pinça (Figura 9). Neste momento, o estigma ainda não está receptivo e o pólen ainda não está maduro, não havendo o risco de fecundação. As flores abertas que não forem emasculadas até às 8 h devem ser cortadas com uma tesoura, para não haver estames com pólen na inflorescência, com a finalidade de evitar a autofecundação. Após essa etapa, a tela do isolamento deve ser recolocada.



Figura 9. Processo de emasculação em flor da teca (em segundo plano, dois botões florais emasculados polinizados no dia anterior e marcados com caneta vermelha).

Entre 11 h e 14 h, a polinização controlada é realizada. Em primeiro lugar, deve-se realizar a coleta de flores abertas da matriz doadora de pólens próximo às 11 h, acondicionando as flores abertas em recipientes com tampa, colocando-os em uma caixa de isopor com gelo no fundo, para manter o material em ambiente fresco até ser utilizado. Para evitar possíveis contaminações das flores, por pólens trazidos por insetos polinizadores, é importante manter as inflorescências doadoras de pólen também com isolamento.

Para a polinização, utilizam-se as flores frescas da matriz doadora de pólen, aplicando as anteras diretamente no estigma das flores emasculadas da matriz receptora de pólen (Figura 10). Este processo deve ser feito, conforme já comentado, entre 11 h e 14 h, período de maior receptividade do estigma. As flores polinizadas podem ser marcadas na sua base com caneta, para fins de controle da operação, e deve-se ficar atento para evitar o acesso de insetos polinizadores na inflorescência, que estará sem a tela de isolamento durante a realização do processo de polinização controlada.



Foto: Fabrício Antonio Biernaski

Figura 10. Polinização controlada da teca com pólen fresco.

Após a realização das polinizações, a tela protetora deve ser recolocada. Ao final do dia, as pétalas e os estames das flores polinizadas caem (Figura 11). O processo deve ser repetido por dias consecutivos até que o número de flores a serem polinizadas de cada inflorescência seja atingido. No dia seguinte da última polinização controlada na inflorescência, as estruturas e as telas de isolamentos devem ser retiradas, para evitar danos por ventos e permitir o desenvolvimento natural dos frutos. Após poucos dias da realização das polinizações, os desenvolvimentos dos frutos se tornam evidentes (Figuras 12, 13, 14, 15 e 16).



Figura 11. Flores da teca no dia seguinte de sua antese e polinização, sem as pétalas e estames, sendo possível verificar as sépalas e o estigma.



Fotos: Fabrício Antonio Biernaski

Figura 12. Frutos da teca em desenvolvimento após sete dias da polinização controlada (coloração vermelha aplicada para indicar que foram emasculados e polinizados manualmente).



Foto: Fabricio Antonio Biernaski

Figura 13. Frutos da teca em desenvolvimento após onze dias de polinização controlada.

Figura 14. Frutos da teca, após 21 dias de polinização controlada, com estrutura de arame utilizada no isolamento da inflorescência.



Foto: Fabricio Antonio Biernaski



Foto: Fabricio Antonio Biernaski

Figura 15. Frutos da teca após 21 dias de polinização controlada.

Figura 16. Frutos da teca após 42 dias de polinização controlada.



Foto: Fabricio Antonio Biernaski

Os frutos podem ser coletados entre 120-200 dias após a polinização, apresentando maior potencial germinativo próximo aos 200 dias (Hedegart, 1973). A instalação de um bolsa telada ao redor dos frutos, após 120 dias da polinização, é uma forma de coletar os frutos que se desprendem durante o processo de maturação. Após as coletas, as sementes podem ser utilizadas para a produção de mudas destinadas aos testes de progênies, com a finalidade de dar prosseguimento às atividades do programa de melhoramento genético.

Considerações finais

A recombinação de matrizes superiores via polinização controlada é essencial nos programas de melhoramento de plantas. Por se tratar de um processo bastante trabalhoso em teca, é importante seguir uma estratégia adequada na seleção dos materiais genéticos a serem cruzados, para aumentar as chances de obtenção de progênies de alto potencial. Após a produção das sementes, deve-se aplicar técnicas apropriadas para maximizar a germinação e a obtenção de plântulas. A clonagem individual das plântulas obtidas dos cruzamentos controlados, para instalação de testes de progênies clonais, pode ser uma boa opção para tirar maior proveito do material genético recombinado e para acelerar o processo de seleção de clones superiores.

Referências

BRYNDUM, K.; HEDEGART, T. Pollination of teak (*Tectona grandis* Linn f.). **Silvae Genetica**, v. 18, n. 1, p. 77-80, 1969.

HEDEGART, T. Pollination of teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 22, n 4, p. 124-128, 1973.

HINE, A.; ROJAS, A.; SUAREZ, L.; MURILLO, O.; ESPINOZA, M. Optimization of pollen germination in *Tectona grandis* (teak) for breeding programs. **Forests**, v. 10, n. 908, p. 1-10, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/f10100908.

INDIRA, E. P.; MOHANADAS, K. Intrinsic and extrinsic factors affecting pollination and fruit productivity in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 62, n. 3, p. 208-214, 2002.

KAOSA-ARD, A.; APAVATJRUT, P. Teak (*Tectona grandis* Linn. f.) tissue culture. In: REGIONAL SYMPOSIUM ON RECENT RESEARCH DEVELOPMENT IN TREE PLANTATION FOR HUMID AND SUB HUMID TROPICS OF ASIA, 1989, Malaysia. **Proceedings** [...]. Malaysia, 1989.

KAOSA-ARD, A.; APAVATJRUT, P. Teak tissue culture: rooting and transplanting techniques. In: BIOTECHNOLOGY CONFERENCE, 1988, Washington D.C. **Proceedings** [...]. Washington D.C., 1988.

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1998, Yangon, Myanmar. **Proceedings** [...]. Yangon, Myanmar: Teaknet Publication, 1998a. Disponível em: http://www.fao.org/3/AC773E/ac773e08.htm#bm08.1. Acesso em: 20 out. 2020.

KAOSA-ARD, A.; SUANGTHO, V.; KJAER, E. D. **Experience from tree improvement in Thailand**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 1998. 19 p. (Danida Forest Seed Centre. Technical note, 50).

KAOSA-ARD, A. Teak breeding and improvement strategies. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1998, Yangon, Myanmar. **Proceedings** [...]. Yangon, Myanmar: Teaknet Publication, 1998b. Disponível em: http://www.fao.org/3/AC773E/ac773e08.htm#bm08.2. Acesso em: 20 out. 2020.

KEIDING, H. Aim and prospects of teak breeding in Thailand: a Programme of Work for the Thai-Danish Teak Improvement Centre at Mae Huad Teak Plantation. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 21, n. 1-2, p. 45- 62, 1966.

PALANISAMY, K.; GIREESAN, K.; NAGARAJAN, V.; HEGDE, M. Effective utilization of clonal seed orchard of teak and production of improved planting stock. **The Indian Forester**, v. 134, n. 7, p. 977-980, 2008.

PALANISAMY, K.; KRISHNAMOORTHY, M.; GIREESAN, K.; RAJASEKAR, S. Recent trends in teak improvement in India. **Teaknet Bulletin**, v. 3, n. 3, p. 2-8, 2010.

PALANISAMY, K.; SUBRAMANIAN, K. Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 50, n. 5-6, p. 188-191, 2001.

TANGMITCHAROEN, S. **A manual**: technique for controlled hand-pollination of teak (*Tectona grandis* L. f.). Thailand: ASEAN, Forest Tree Seed Centre Project, 1997. 23 p. Disponível em: https://www.forest.go.th/plantationexpert/wp-content/uploads/sites/122/2021/01/Manual_Control_Pollination.pdf. Acesso em: 16 mar. 2021.

TANGMITCHAROEN, S.; OWENS, J. N. Pollen viability and pollen-tube growth following controlled pollination and their relation to low fruit production in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **Annals of Botany**, v. 80, n. 1, p. 401-410, 1997.

TANGMITCHAROEN, S; TASEN, W.; OWENS, J. N.; BHODTHIPUKS, J. Fruit set as affected by pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.) at two tree spacings in a seed orchard. **Journal Science Technology**, v. 31, n. 3, p. 255-259, 2009.

WATTANASUKSAKUL, S. Controlled pollination of teak. In: In: REGIONAL WORKSHOP ON “ENHANCING THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TEAK FORESTS AND LEGAL AND SUSTAINABLE WOOD SUPPLY CHAINS IN THE GREATER MEKONG SUB-REGION”, 2019, Yangon, Myanmar. **Keynote presentation** [...]. Yangon, Myanmar: RETC-AFoCO, 2019. Disponível em: http://www.teaknet.org/download/ITTO%20Project%202019/Regional%20Workshop%20Myanmar/2.Saroj%20-RFD%20Thailand.pdf. Acesso em: 25 set. 2020.



6

As melhores regiões para cultivo da teca no Brasil

Marcos Silveira Wrege
Marilice Cordeiro Garrastazú
Márcia Toffani Simão Soares
Elenice Fritzsons

Introdução

A teca (*Tectona grandis* L. f.) é originária das florestas de monção situadas no continente asiático. A espécie possui madeira de ótima qualidade, crescimento rápido e bastante rusticidade (Figueiredo, 2001) e, em função da presença de oleosidade e de sílica na composição de sua madeira, agrega propriedades tais como baixa retratilidade e leveza, resistência ao sol, ao calor, ao frio, à água da chuva e do mar e aos incêndios florestais de menor grau, sendo empregada na indústria de construção naval, produção de peças de usos nobres e de móveis finos (Rondon Neto et al., 1998; Klippel et al., 2013). Com todas estas qualidades, o interesse pelo cultivo dessa espécie e comercialização de sua madeira tem aumentado em todo o mundo (Lorenzi et al., 2003).

Apesar do grande potencial econômico, programas de pesquisa e fomento voltados ao cultivo da espécie são ainda escassos no Brasil, quando comparados com as culturas do eucalipto e do pinus, que apresentaram significativos ganhos com a definição de áreas de baixos riscos climáticos para plantio, seleção de materiais genéticos adaptados a diferentes condições ambientais, desenvolvimento de práticas de manejo do solo, controle de pragas e doenças e o desenvolvimento de sistemas de suporte à tomada de decisão baseados no uso de modelos matemáticos na área da bioinformática e de modelos desenvolvidos para diversas aplicações, como a estimativa de áreas de manejo, incremento do potencial de produção e riscos associados à produção silvicultural.

Entre os instrumentos de gestão de riscos na atividade agrícola, destaca-se o zoneamento de riscos climáticos, um importante instrumento de gestão de riscos oficialmente instituído e adotado como balizador de política agrícola no Brasil, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a partir de 1996, com a adoção do Zoneamento Agrícola do Brasil que vinculava as pesquisas na área de riscos climáticos com a política agrícola do País. O zoneamento tem o objetivo de reduzir a ocorrência de sinistros na agricultura, com a adequação do calendário de plantio para cada região, classificando cada uma delas de acordo com as características climáticas. O zoneamento indica, com base em variáveis climáticas, as melhores regiões para plantio e os sítios onde diferentes materiais genéticos têm condições para se desenvolver, adotando, com base em critérios econômicos, riscos de até 20%. O primeiro zoneamento proposto para espécie florestal de valor comercial foi o da cultura do *Pinus taeda* para a região Sul do Brasil, no ano de 2008 (Higa et al., 2008).

O zoneamento de risco climático é baseado na modelagem e na extrapolação de indicadores de riscos, a partir dos quais são geradas camadas por meio de sistemas de informações geográficas. O principal critério utilizado para selecionar as melhores regiões para plantio, com os menores riscos climáticos, é relacionado a indicadores de risco de deficiência hídrica, responsável pelo maior número de sinistros, principalmente na atividade agrícola, sendo menos comum na florestal (Gonçalves; Wrege, 2018). São também considerados indicadores relacionados aos riscos de ocorrência de temperaturas extremas passíveis de danos à planta, como geada ou temperatura baixa, comuns nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, e a ocorrência de temperaturas elevadas, acima do limite superior para o desenvolvimento da espécie, comuns nas regiões Norte e Nordeste do País. Para espécies florestais de valor comercial, os critérios são aplicados para as fases mais críticas, relacionadas aos períodos do plantio e de aclimatação das mudas nos primeiros 15 dias após o transplantio.

Para diminuir as imprecisões que ocorrem nos processos de modelagem e das extrapolações, são considerados todos os indicadores de risco em conjunto, prevendo-se ajustes regionais e qualitativos destes indicadores (Gonçalves; Wrege, 2018). Seguindo-se as recomendações do zoneamento, consegue-se reduzir as taxas de sinistralidade, conferindo maior sustentabilidade econômica ao sistema produtivo e, adicionalmente, obtendo-se um ganho com o aumento da capacidade produtiva da espécie, aliando o melhor material genético indicado à região mais favorável para sua produção (Wrege et al., 2018).

As análises da distribuição de uma espécie, ou de uma população, determinam a amplitude de sua distribuição no espaço e no tempo indicando, desta forma, quais são as regiões com maior potencial para o seu cultivo comercial ou para uso em sistemas de restauração.

A região na qual uma espécie tem potencial para se desenvolver pode ser definida por processos de modelagem espacial, utilizando algoritmos desenvolvidos para este fim, podendo-se prever a distribuição da espécie no espaço e suas variações no tempo, buscando compreender de que maneira as condições ambientais têm influência sobre sua ocorrência ou abundância. Essa relação entre espaço e tempo é dinâmica e vem sofrendo algumas alterações. Exemplo disso pode ser dado pelas alterações de área por espécie, em função das ameaças do clima.

Essas mudanças podem ser quantificadas com o uso de modelos e camadas contendo dados climáticos do presente e de cenários futuros, utilizando softwares de modelagem de nicho, como o openModeller (Muñoz et al., 2011) ou o MaxEnt (Phillips et al., 2006), em conjunto com o uso de softwares de sistemas de informações geográficas, para a interpretação

dos resultados. Com isso, é possível calcular o ganho ou a perda de área potencial que uma espécie poderá ter nas próximas décadas, em função de cenários de mudanças climáticas.

Para auxiliar na avaliação de um conjunto de dados, visando o melhor uso da terra, pode-se agrupá-los pelas suas características comuns, por meio de análise de agrupamento ("análise de cluster" ou "classificação não supervisionada"), que consiste na classificação dos dados em diferentes grupos, cada qual contendo os dados semelhantes, segundo uma função de distância estatística. As observações dentro do grupo devem ser muito semelhantes entre si e muito diferentes das demais (Jain et al., 1998; Theodoridis et al., 1998).

O objetivo deste capítulo é apresentar quais são as melhores regiões para o cultivo de teca no Brasil, com o uso de duas ferramentas voltadas ao planejamento de uso da terra: o zoneamento de riscos climáticos, cujas zonas foram obtidas por meio de avaliações feitas dos riscos climáticos inerentes à espécie e a análise de agrupamento de regiões com características climáticas comuns, feita através de análise de cluster.

Metodologia empregada no zoneamento de riscos climáticos para a teca

Para elaborar o zoneamento de riscos climáticos e a análise de agrupamento para a teca, foram usados dados climáticos de uma rede formada por 125 estações meteorológicas na região Sul, organizados por Wrege et al. (2012) e 321 estações na região Sudeste do Brasil e, para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, foram usadas camadas elaboradas a partir de dados compilados por Hamada et al. (2008). Os dados foram reunidos, analisando as falhas, os erros e a completude, eliminando as estações com muitas falhas ou erros e corrigindo aquelas com menos falhas e erros. Camadas foram geradas em sistemas de informações geográficas, no ArcMap 10.1 (Environmental Systems Research Institute, 2011), utilizando a técnica de regressão linear múltipla para dados de temperatura e de krigagem indicatriz para precipitação pluviométrica e déficit hídrico. Para a classificação de zonas, foram utilizados os critérios da Figura 1 e Tabela 1.

As temperaturas favoráveis, que caracterizam o envelope climático (faixa de temperatura favorável, entre o limite superior e o inferior) para o desenvolvimento da teca são elevadas. Para viabilidade do cultivo comercial, considerou-se a temperatura média anual superior a 22 °C, caracterizando as regiões com essa condição como "risco baixo" ao cultivo e, caso contrário, "risco alto" (para as regiões com temperaturas inferiores a 22 °C) (Klippel et al., 2013).

A ocorrência de geada pode causar a morte da muda de teca. Assim, foram usados os índices calculados por Wrege et al. (2018), para classificar as zonas correspondentes a "risco baixo", quando o risco de geada era inferior a 20%, ou "risco alto", quando era superior aos 20% nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Em relação às necessidades hídricas, a zona foi classificada de "risco baixo" ao cultivo da teca se o déficit hídrico no ano (P-ETP) foi inferior a 150 mm, caso contrário, o "risco foi considerado alto" (P é a precipitação pluviométrica e ETP é a evapotranspiração potencial).

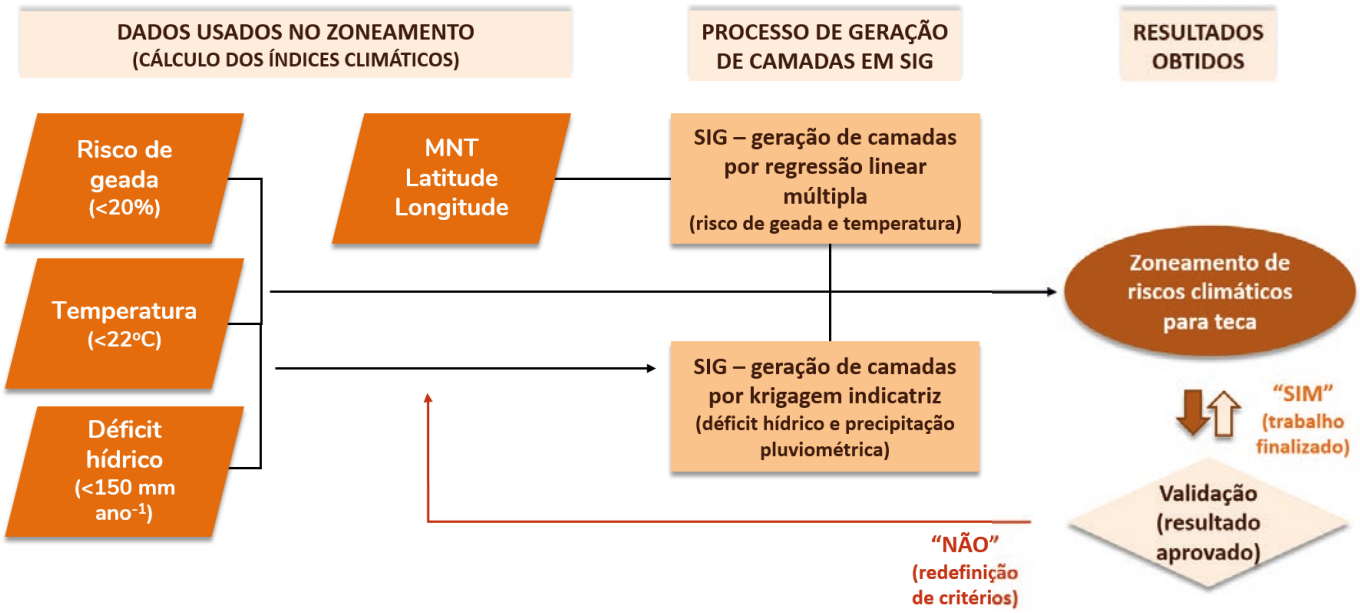


Figura 1. Modelo esquemático relacionado às atividades necessárias para elaboração de camadas de risco indicativas das melhores regiões para o plantio da teca no Brasil.

Tabela 1. Classes de risco para o desenvolvimento da teca.

Temperatura média anual (°C)		Risco de geada (%)		Déficit hídrico anual (mm)	
Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
≥ 22	< 22	< 20	≥ 20	< 150	≥ 150

Embora o déficit hídrico se constitua em risco, não causa a morte da planta, exceto em casos excepcionais e, assim, não é um índice excludente. A excepcionalidade se aplica ao Semiárido, onde as condições de seca são um fator impeditivo ao cultivo da teca.

Pontos de presença da espécie

Para uso na análise de agrupamento, foi criada uma matriz de 2.358 pontos com resolução de 30” sobre a América Latina, no software ArcMap 10.1 (Environmental Systems Research Institute, 2011), utilizando a função Extract Multi Values to points. A partir disto, foi organizada uma tabela de atributos, contendo as coordenadas dos pontos da matriz e os valores das variáveis climáticas correspondentes a cada ponto, obtidas pelo cruzamento entre a camada da matriz de pontos com as 19 camadas de variáveis bioclimáticas (Vide anexo), obtidas do Worldclim (Fick; Hijmans, 2017). No módulo Statistical Tools, foram processadas as análises estatísticas multivariadas, criando-se dez agrupamentos na América do Sul, com características climáticas comuns.

Para a elaboração do mapa de regiões formadas pela análise de agrupamento, utilizando sistemas de informações geográficas, para cada grupo individualmente, construiu-se um buffer com raio de 1 grau decimal em torno de cada ponto da grade anteriormente citada, que foram convertidos em polígonos. No processo de conversão, utilizou-se a opção de dissolver os polígonos formados, unindo aqueles que se interseccionavam (praticamente todos), formando um único polígono correspondente a cada um dos dez grupos na América do Sul.

Resultados obtidos com o zoneamento de riscos climáticos para a teca

Os zoneamentos para teca, para cada região do País, são apresentados nas Figuras 2 a 6, mostrando as classes de baixo risco para o plantio, atendendo aos critérios necessários para a espécie.

Na região Sudeste, existem áreas de baixo risco, mas algumas têm restrições por geada, temperaturas baixas ou por déficit hídrico (Figura 2). Quanto à geada ou às temperaturas baixas, ocorre restrição ao plantio, porque a teca não tolera geada e pode ocorrer a morte da planta, sendo, portanto, um fator impeditivo ao seu desenvolvimento. Nas zonas de altitude do centro-sul do Brasil, é comum a ocorrência de geada, devido à relação (inversa) existente entre altitude e temperatura do ar. Em relação ao déficit hídrico, a restrição não é tão severa, pois não ocorre morte da planta, exceto em casos

excepcionais, como os anos mais secos, ou a zona do Semiárido brasileiro, compreendida pelo bioma Caatinga, onde as condições de seca são um fator impeditivo ao cultivo da teca. A restrição de plantio causada por déficit hídrico é maior na parte norte do Estado de Minas Gerais, onde ocorre transição do clima tropical da Mata Atlântica para o Semiárido da Caatinga.

Na região Sul, a maioria das áreas é classificada como "risco alto" para o cultivo da teca, pois o risco de geada é elevado e a temperatura do ar é baixa no inverno, inferior ao limite crítico do seu "envelope de desenvolvimento", restringindo o cultivo da espécie, exceto no norte e noroeste do Paraná. Nesta área, o volume de chuvas se encontra dentro dos limites necessários para o cultivo comercial da espécie. No entanto, em alguns anos, podem ocorrer geadas leves (em menos de 20% dos anos). A Figura 3 apresenta apenas o estado do Paraná, único na região Sul que apresenta algumas áreas com condições favoráveis para o cultivo da teca.

A maioria das áreas da região Centro-Oeste é de risco baixo ao desenvolvimento da teca (Figura 4). No Pantanal, o risco é um pouco maior, em função do déficit hídrico. No sul do Mato Grosso do Sul ocorrem geadas em alguns anos e, portanto, uma pequena área é de risco alto ao cultivo de teca. Nas demais áreas da região, as condições são favoráveis, dentro dos limites necessários para o bom desenvolvimento da espécie. No entanto, ocorre um período extenso de déficit hídrico, o que pode interferir na produção, pois a região é de Cerrado e tem como característica a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano, concentrando-se mais em cerca de seis meses consecutivos do ano.

A região Norte tem altos índices pluviométricos e temperaturas elevadas, no entanto, dentro dos limites necessários para o cultivo da teca (Figura 5). Porém, existem algumas áreas com cotas altimétricas inferiores a 50 m, próximas ao Rio Amazonas, que devem ser evitadas por sofrerem períodos de alagamento. No noroeste da região, o volume de chuva é excessivo, podendo prejudicar o desenvolvimento da espécie.

A região Nordeste do Brasil tem áreas de risco baixo, mas, na região conhecida como Semiárido, não é recomendado o plantio, pois o volume de chuva anual é inferior ao limite necessário para o bom desenvolvimento da teca, com alto risco de obter produtividade baixa (Figura 6). Na Zona da Mata (região litorânea), as condições necessárias para o desenvolvimento da teca são atendidas.

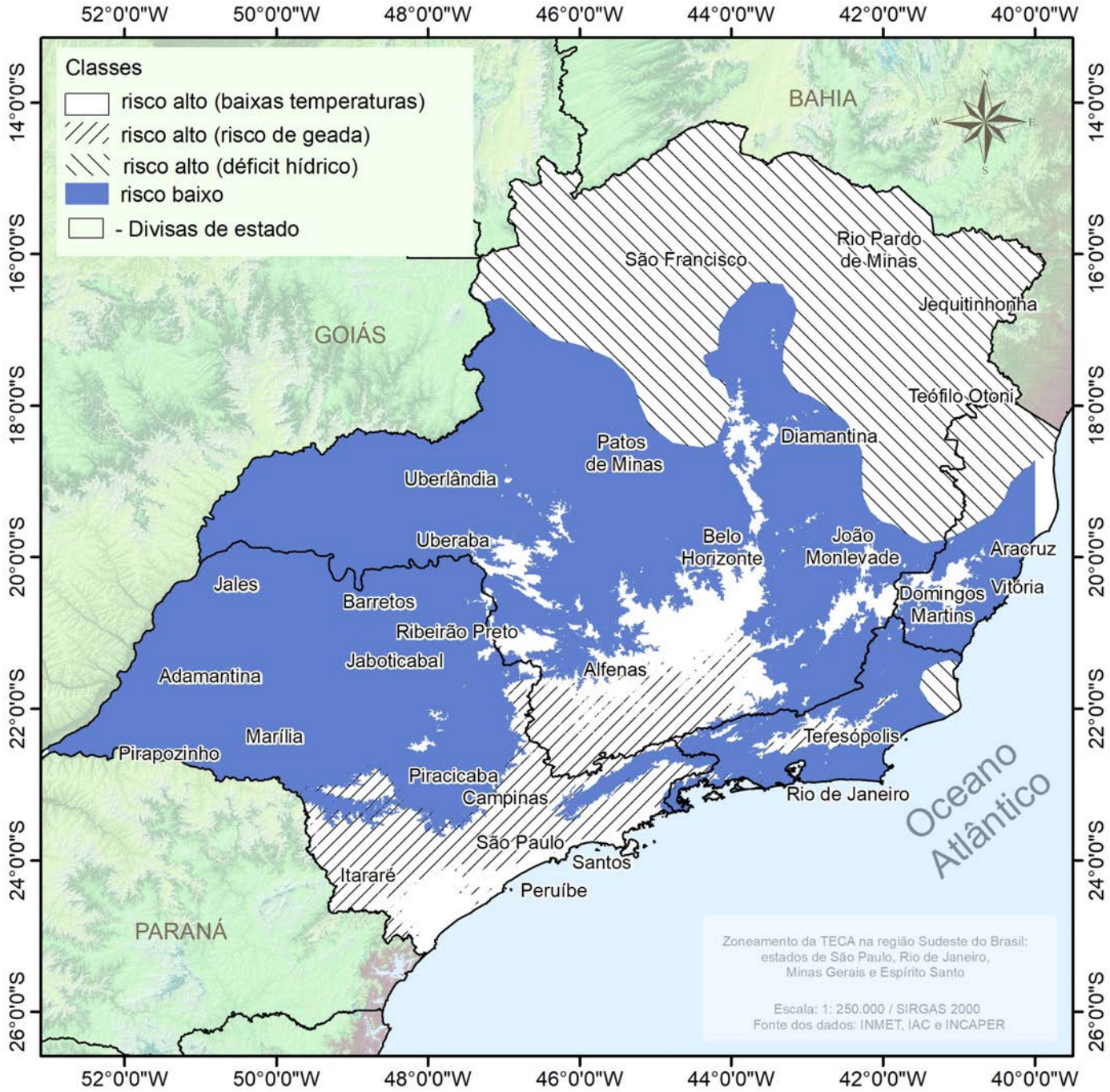


Figura 2. Zoneamento de riscos climáticos para teca, com indicação das regiões com os menores riscos climáticos para o plantio comercial da espécie – Região Sudeste.

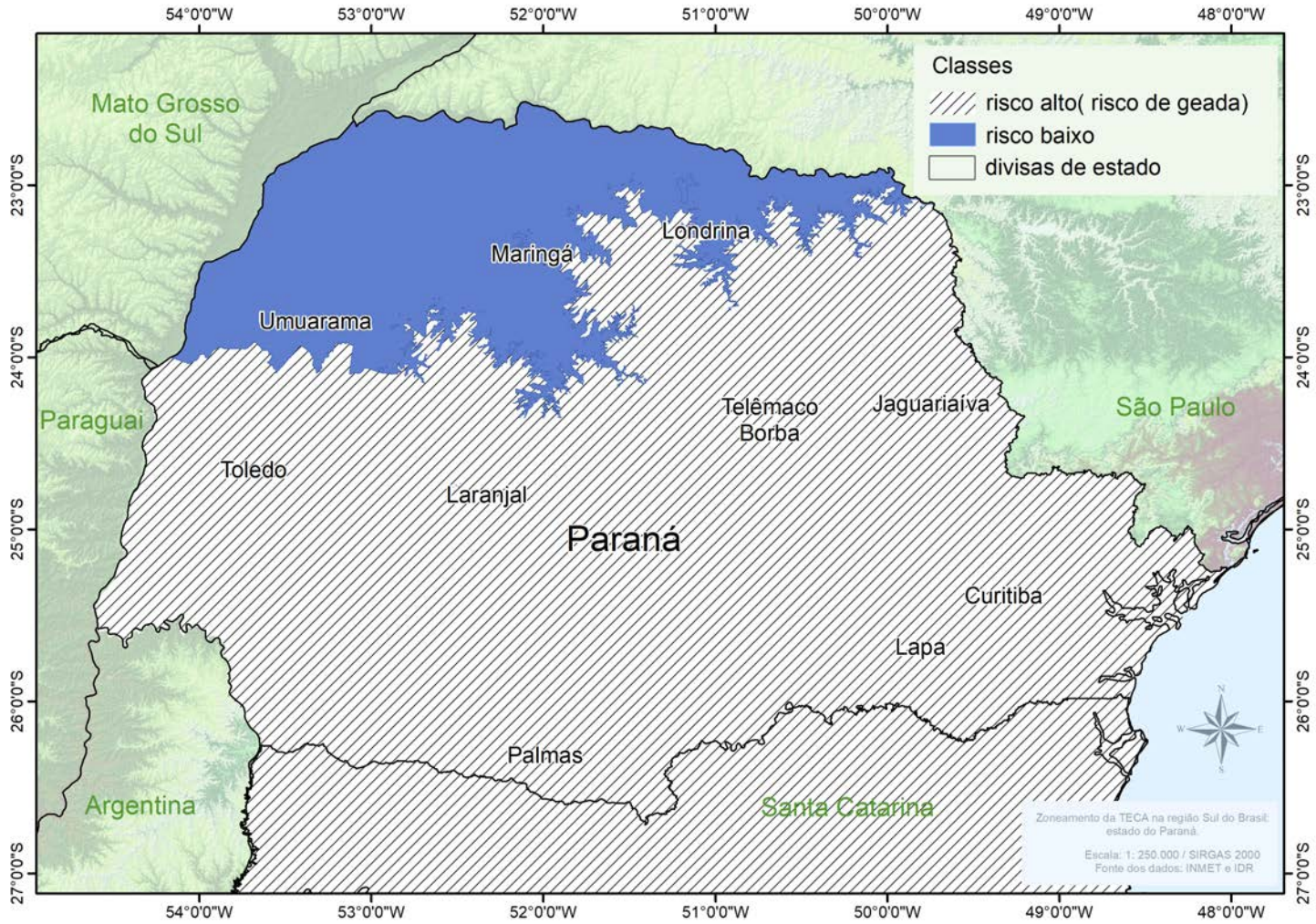


Figura 3. Zoneamento de riscos climáticos para teca, com indicação das regiões com os menores riscos climáticos para o plantio comercial da espécie – Região Sul (Estado do Paraná).

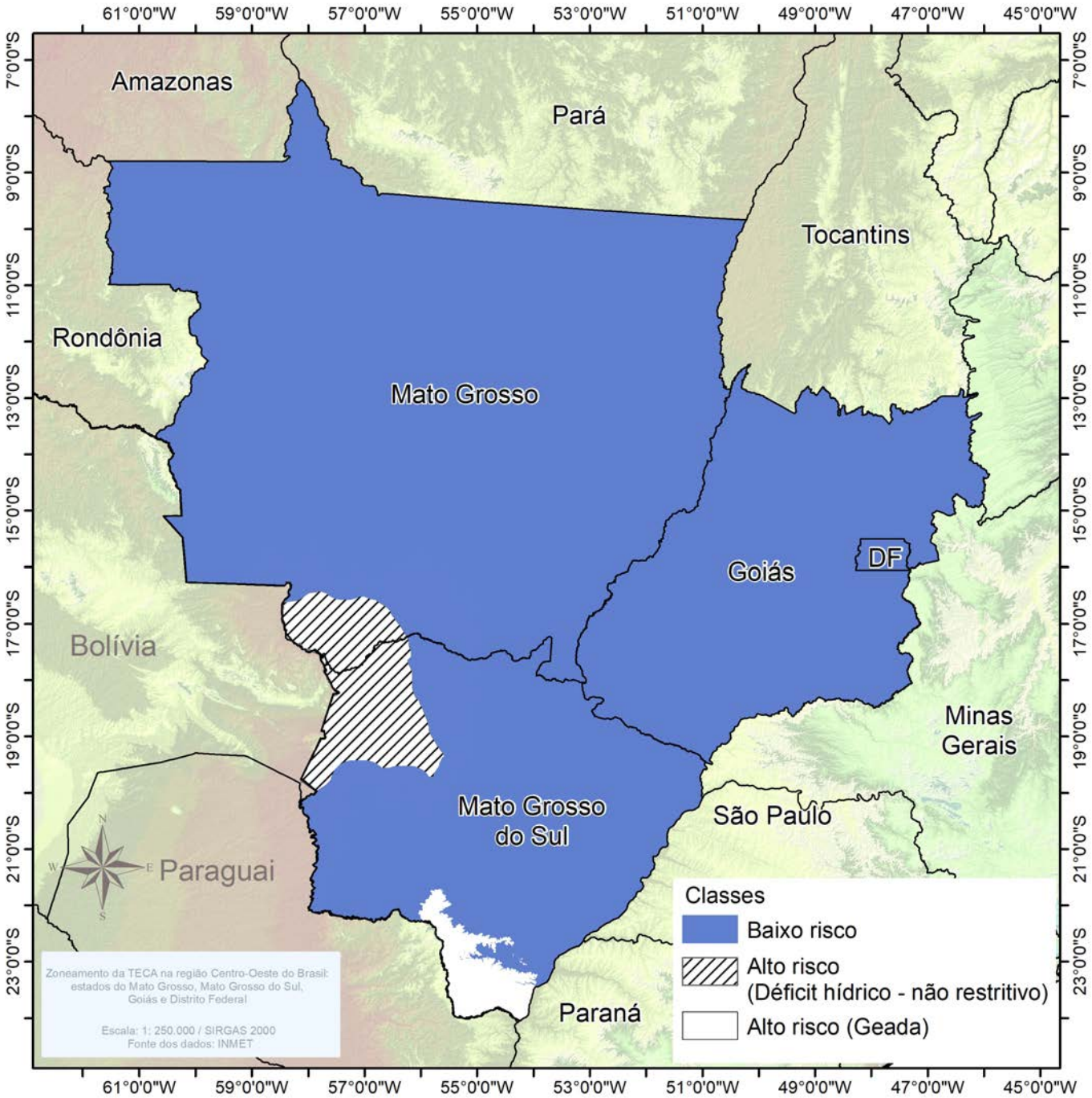


Figura 4. Zoneamento de riscos climáticos para teca, com indicação das regiões com os menores riscos climáticos para o plantio comercial da espécie – Região Centro-Oeste.

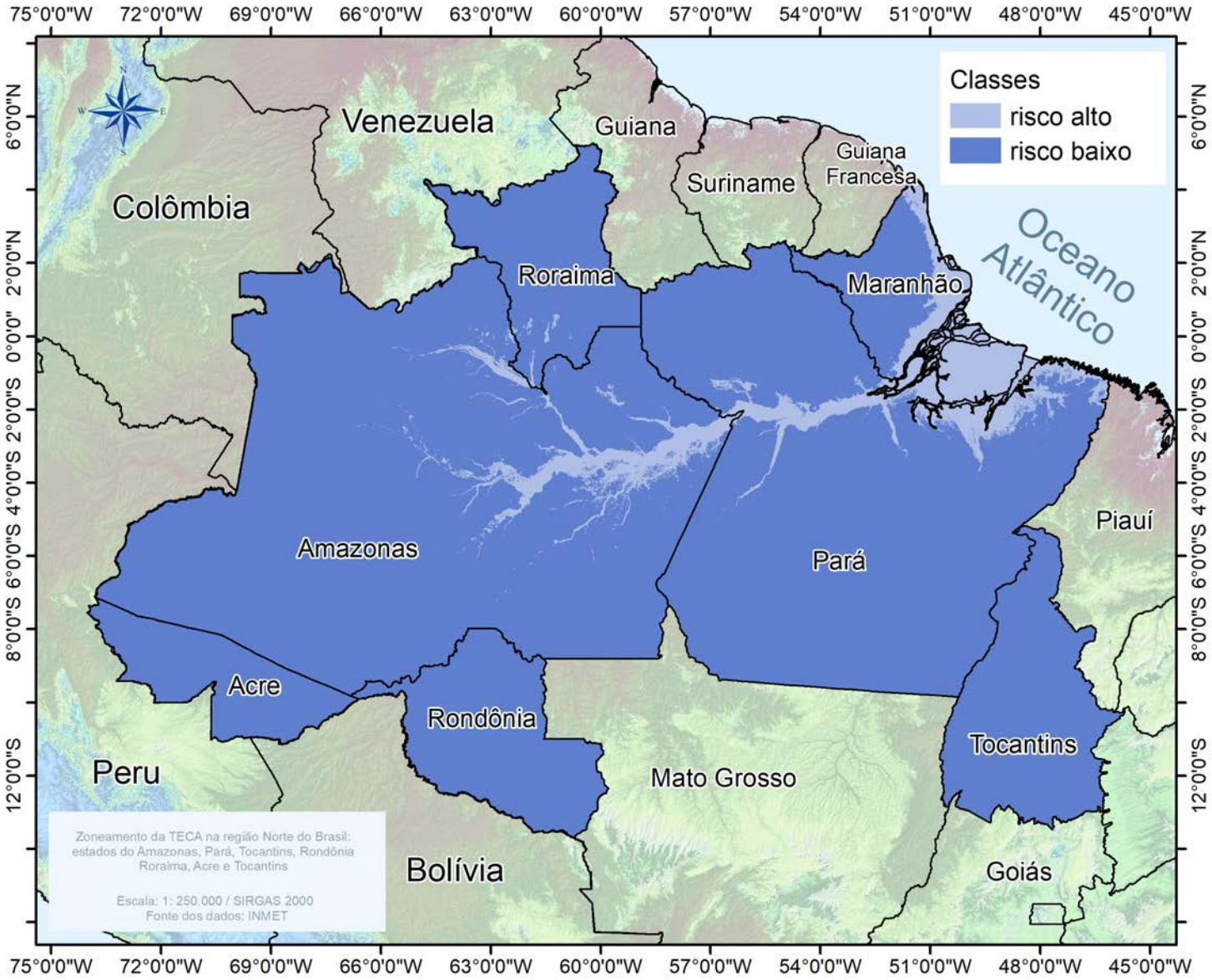


Figura 5. Zoneamento de riscos climáticos para teca, com indicação das regiões com os menores riscos climáticos para o plantio comercial da espécie – Região Norte.

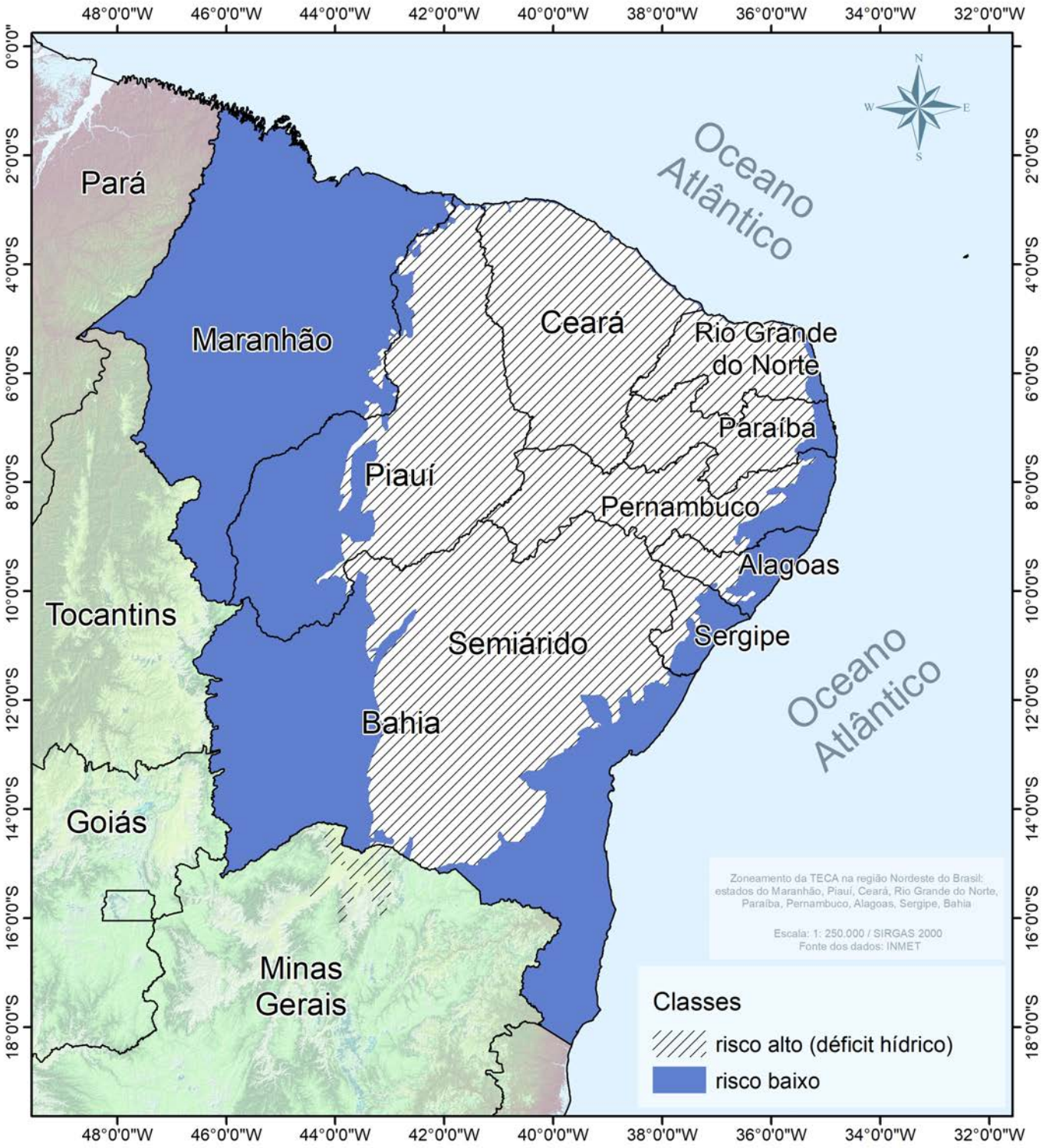


Figura 6. Zoneamento de riscos climáticos para teca, com indicação das regiões com os menores riscos climáticos para o plantio comercial da espécie – Região Nordeste.

Na Figura 7, pode-se observar a ocorrência de seis grupos distintos no Brasil, com características climáticas diferentes que os separam (Anexos 1 e 2). As divisões dos grupos formados se aproximam daquela dos biomas, pois o tipo de vegetação que existe em cada região tem relação com o clima, conforme observou Köppen, o que inclusive influenciou na criação de sua classificação climática, a mais famosa e usada, ainda hoje, em todo o mundo. Assim, em cada região (bioma), a teca tenderá a ter desenvolvimento diferente. As diferentes condições climáticas entre os grupos são apresentadas nas Figuras 9 a 17.

No bioma Amazônia, existem cinco agrupamentos climáticos diferentes (Grupos 2, 3, 5, 8 e 9 das Figuras 7 e 8), onde as condições climáticas são, de modo geral, favoráveis ao desenvolvimento da teca. O noroeste da região, fronteira do Brasil com a Colômbia, é onde ocorrem os maiores volumes de chuva, entre 2.473-7.341 mm ano^{-1} (Grupo 9). Nessa região, a teca pode atingir o maior crescimento, dependendo do tipo de solo. Em algumas áreas desta região, principalmente naquelas situadas na fronteira do Brasil com a Colômbia, a teca pode não se desenvolver tão bem, em função do alto volume de chuva, atingindo o limite superior de capacidade da planta. Na sequência, vem a região representada pelo Grupo 5, com volume de chuva um pouco menor, mas ainda alto, com valores entre 1.710-4.186 mm ano^{-1}. Ao norte, diminui um pouco mais o volume de chuva para valores entre 1.120-3.583 mm ano^{-1} (Grupo 2) e, ao sul da região (Grupo 8) ocorrem volumes de chuva de até 2.553 mm ano^{-1}. No sudoeste da Amazônia, a maior área no estado do Acre, tem a região representada pelo Grupo 8, com até 3.422 mm ano^{-1}, sendo o mais frio entre os demais grupos, com temperatura do ar abaixo dos 23,1 °C.

Na região Nordeste do Brasil (bioma Caatinga e Zona da Mata), existe viabilidade de cultivo comercial da teca na Zona da Mata. No Semiárido, o volume de chuvas é inferior às necessidades da espécie e o cultivo é inviável (Grupo 1).

O bioma Cerrado (Grupos 1 e 3) se caracteriza por ter menor volume de chuva, com valores entre 981 mm ano^{-1} (mais próximo do Semiárido) e 2.553 mm ano^{-1}, e estação seca bem definida de, aproximadamente, seis meses do ano. A produtividade da teca, portanto, tende a ser menor e o ciclo de produção maior, o que não inviabiliza o cultivo comercial da espécie na região.

O bioma Mata Atlântica (Grupos 3 e 4) é extenso e, assim, caracteriza-se por apresentar grandes diferenças de clima e, como consequência, diferentes tipos de vegetação, uma vez que "o tipo de vegetação é uma expressão do clima". Portanto, é comum encontrar subdivisões relacionadas aos tipos de vegetação, representados pelas fitofisionomias. Existem regiões frias, com alto risco de geada (Grupo 4), onde a teca não tem condições de se desenvolver, concentradas mais no sul do País, em áreas de altitude, com até 2.073 mm ano^{-1} de chuva. Em outras regiões (Grupo 3), há condições favoráveis para o cultivo da teca, mas com a ocorrência de um menor volume de chuvas (entre 981-2.553 mm ano^{-1}).

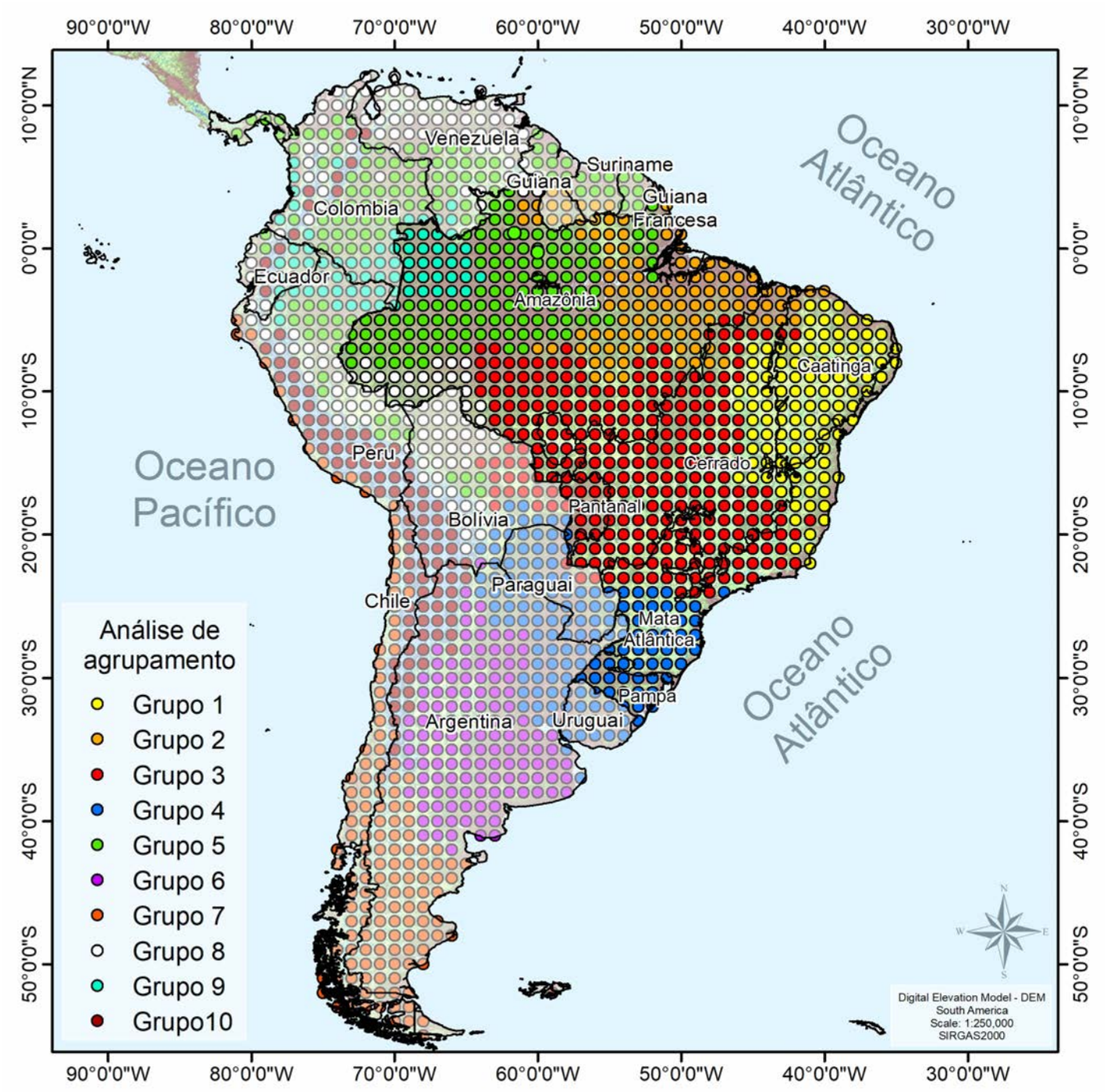


Figura 7. Grupos formados por características climáticas comuns no Brasil, utilizando análise de agrupamento: método hierárquico - Wards.

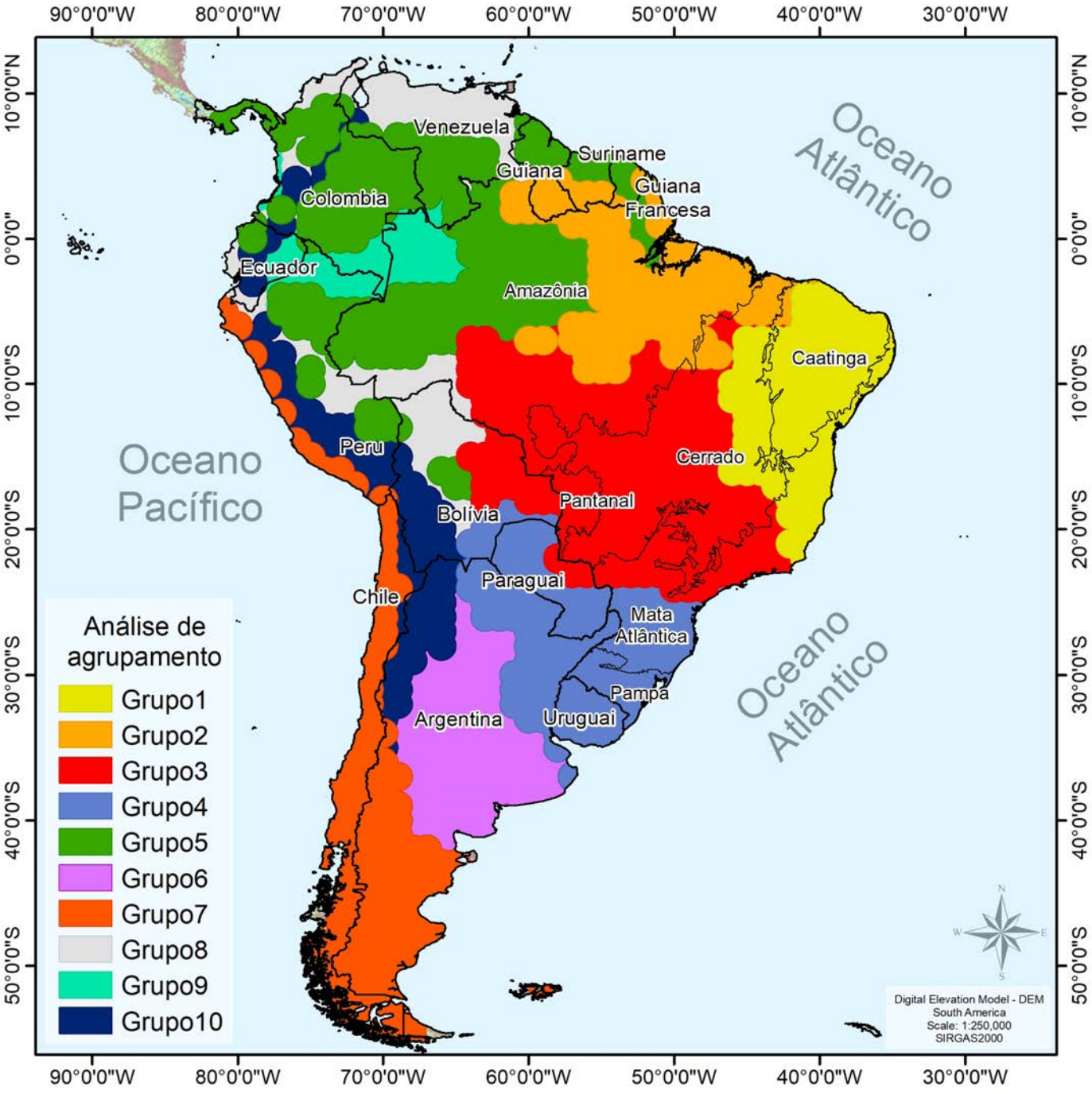


Figura 8. Grupos formados por características climáticas comuns utilizando análise de cluster e os biomas do Brasil.

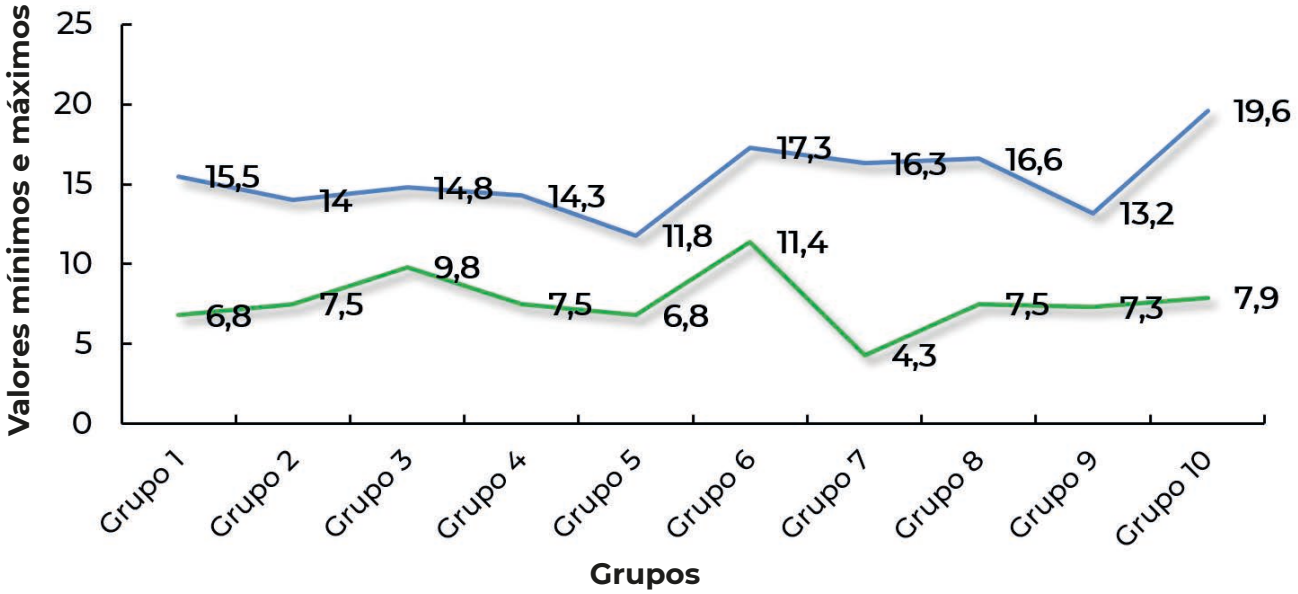


Figura 9. Valores mínimos e máximos da variação diária entre as temperaturas máxima e mínima do ar, por grupos formados na análise de *cluster*.

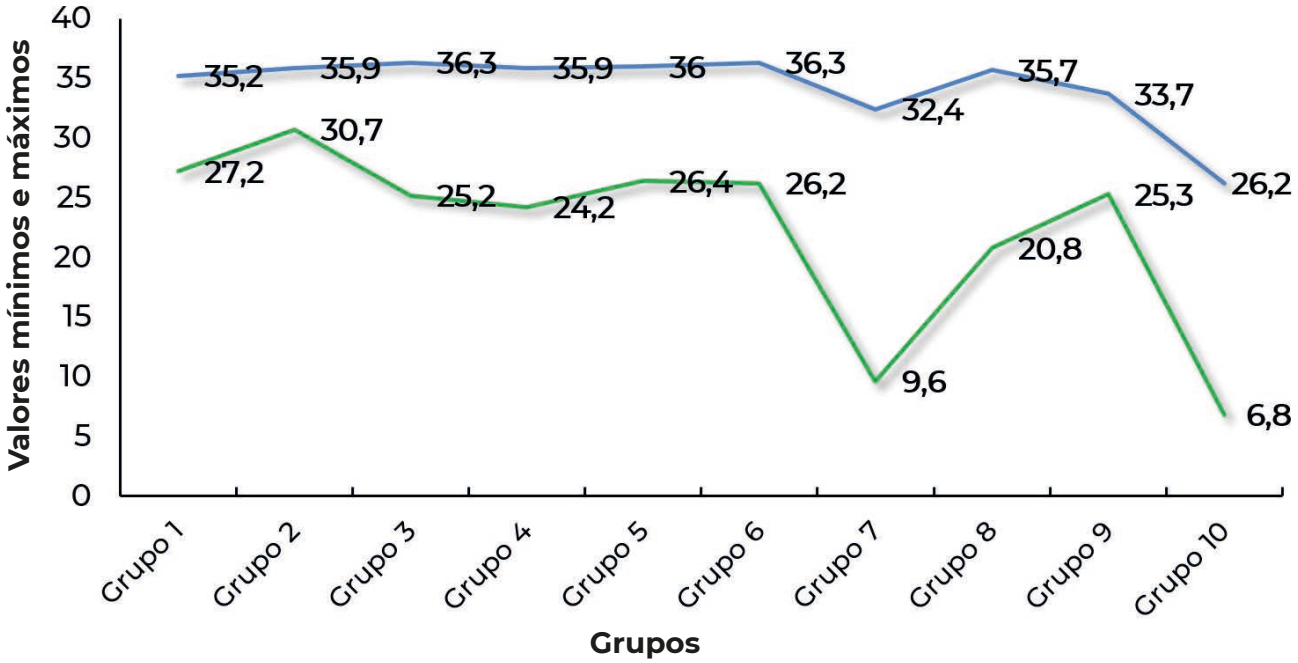


Figura 10. Valores mínimos e máximos das temperaturas máximas na semana mais quente do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

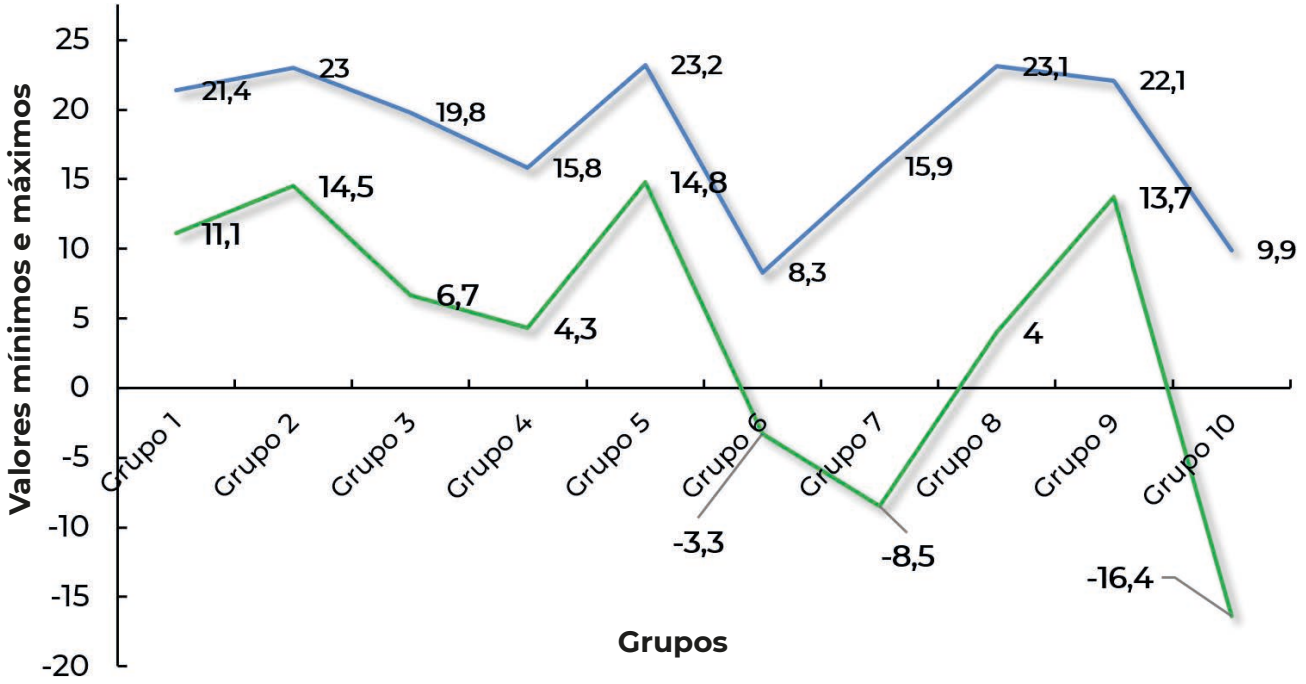


Figura 11. Valores mínimos e máximos das temperaturas mínimas na semana mais fria do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

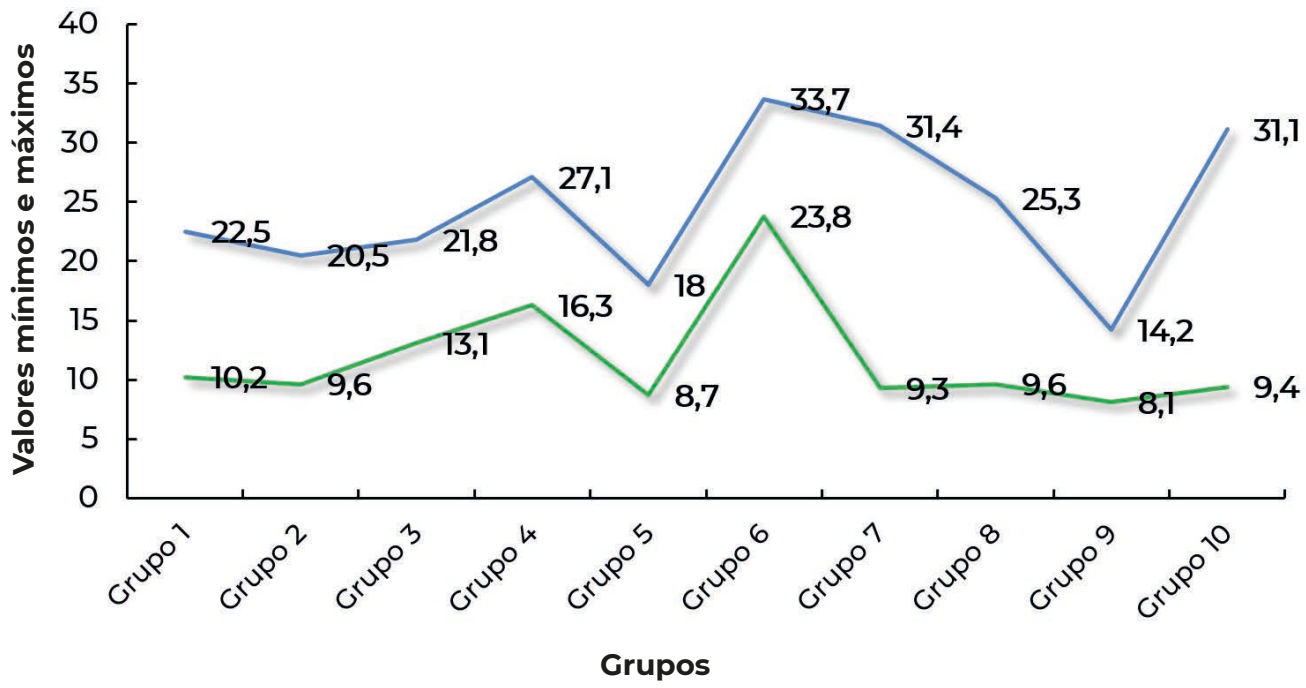


Figura 12. Valores mínimos e máximos da variação entre as temperaturas máximas do ar na semana mais fria do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

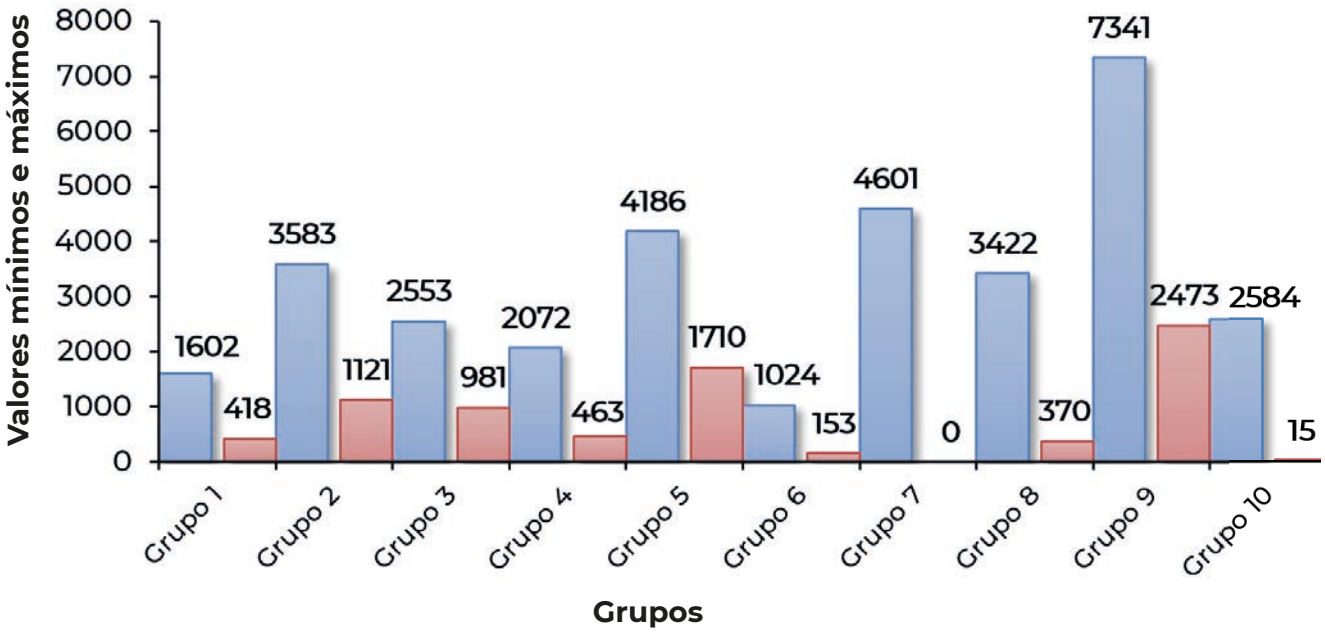


Figura 13. Valores mínimos e máximos da chuva acumulada em um ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

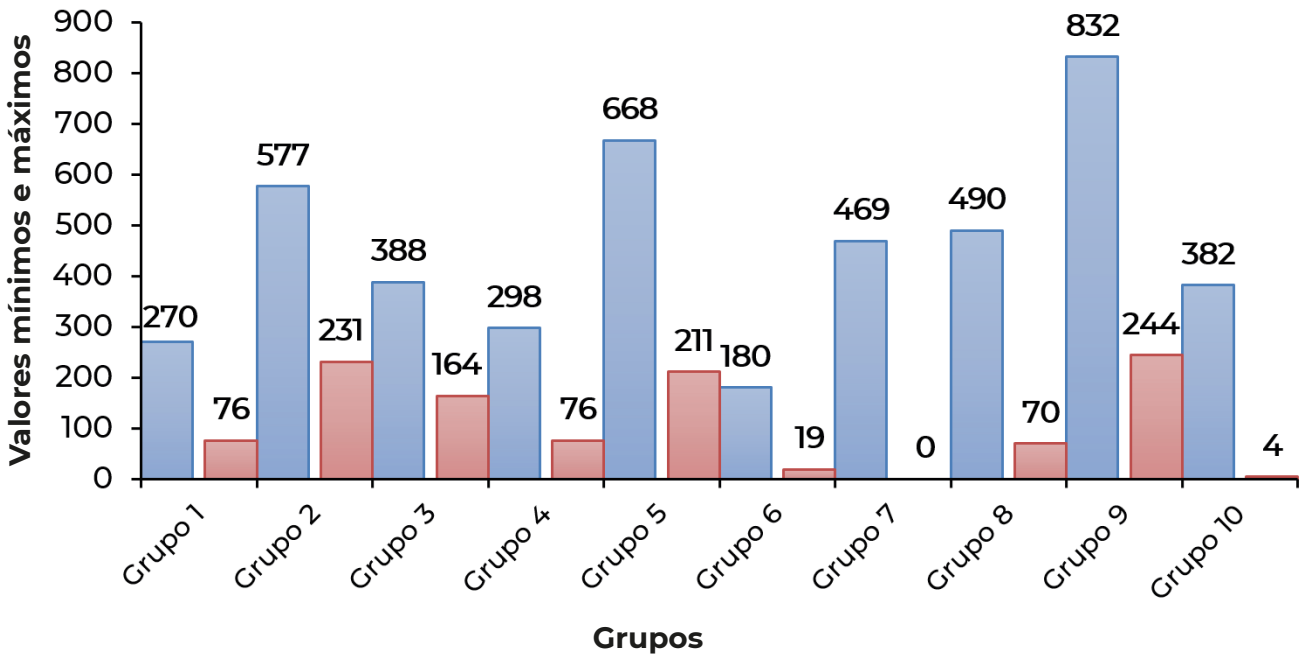


Figura 14. Valores mínimos e máximos da chuva na semana mais úmida do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

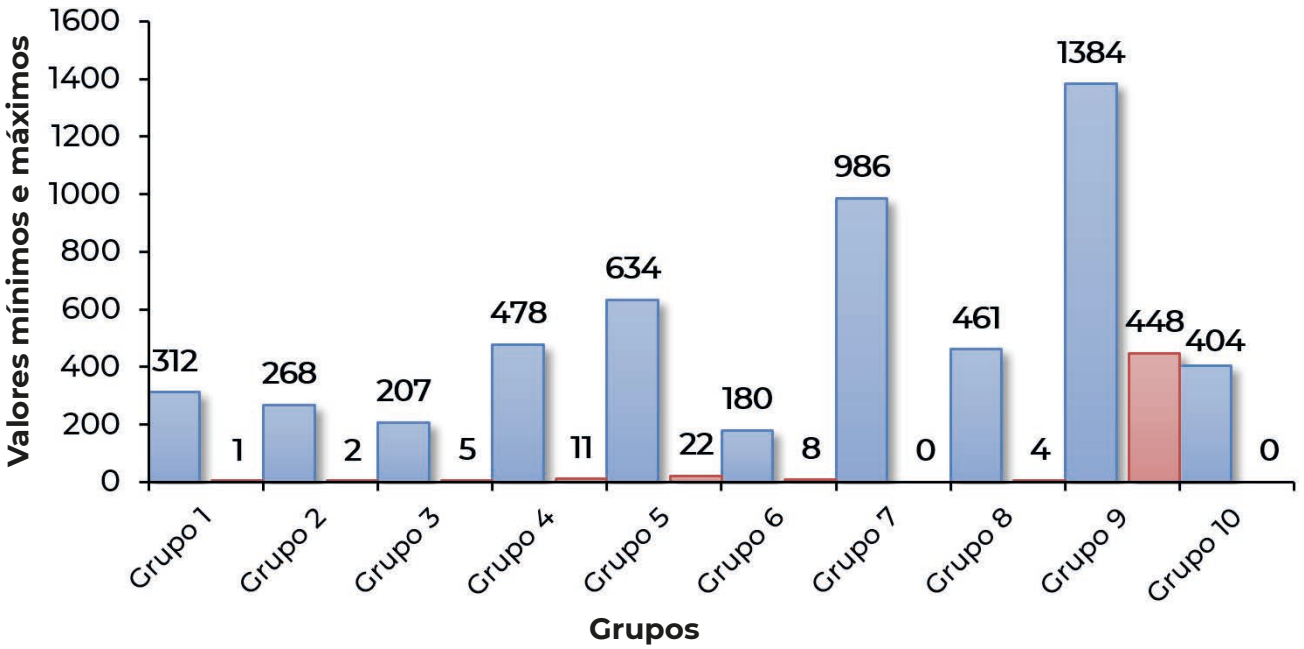


Figura 15. Valores mínimos e máximos da chuva no período mais seco do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

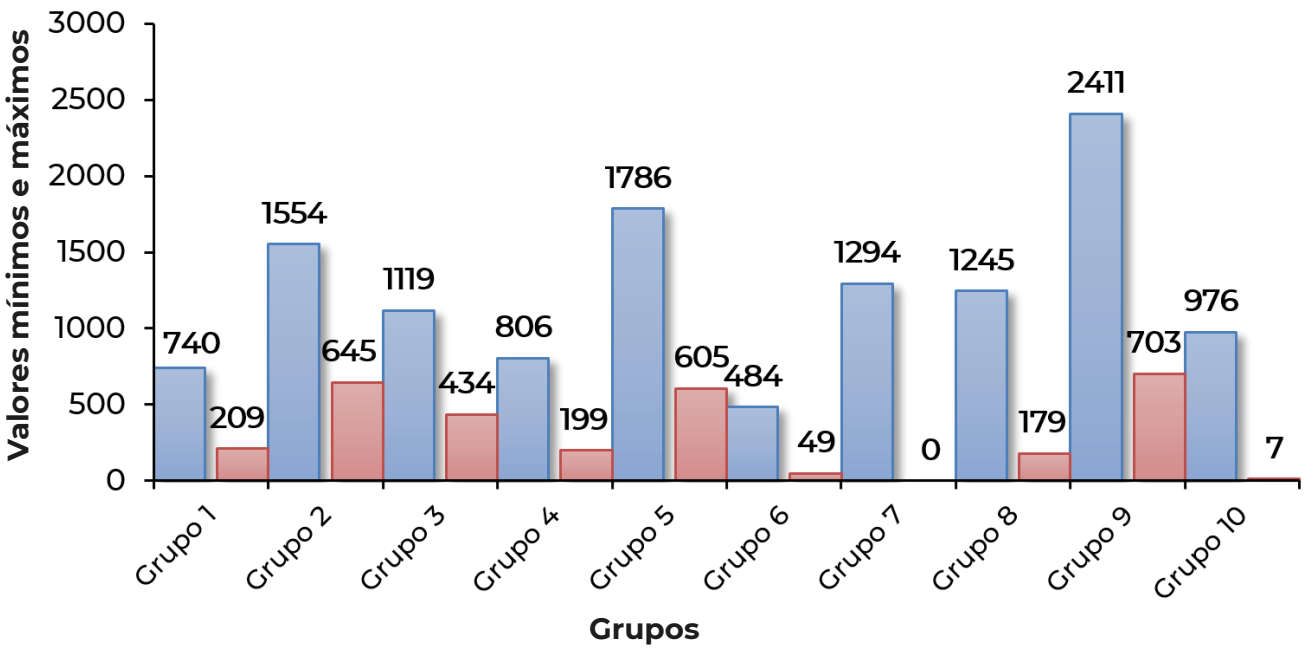


Figura 16. Valores mínimos e máximos da chuva no período mais úmido do ano, por grupos formados na análise de *cluster*.

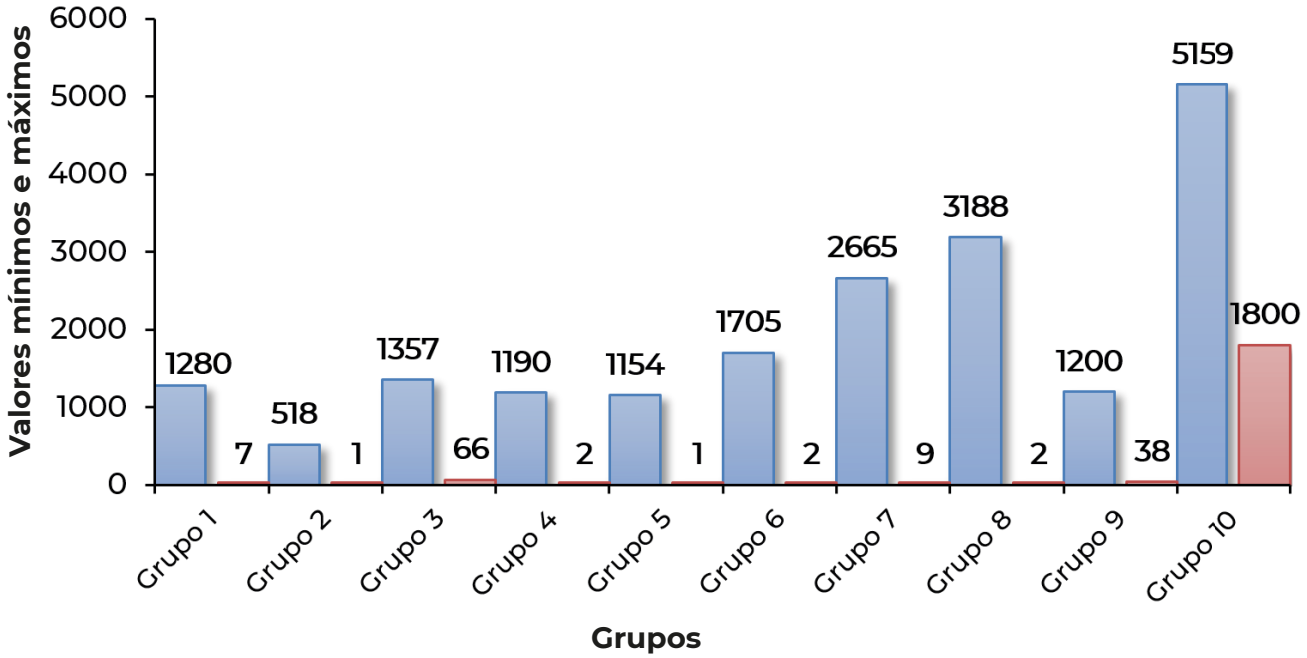


Figura 17. Valores mínimos e máximos da altitude, por grupos formados na análise de *cluster*.

Conclusões

Na América do Sul, em função das condições variadas do clima, existem dez grandes zonas climáticas distintas, ocorrendo seis zonas no Brasil, apresentando condições diferentes para o cultivo da teca.

As principais causas de variação climática se dão em função das temperaturas do ar e do regime de chuvas, sendo que a causa principal de variação das temperaturas se deve à altitude (representada pelo modelo numérico do terreno) e à latitude, e o regime de chuvas é dependente do comportamento das frentes frias, influenciadas também, em parte, pelo relevo (Cordilheira dos Andes).

A teca pode ser cultivada com baixo risco climático em quase todas as áreas do Brasil, exceto em algumas áreas Sul, onde o risco de ocorrência de geadas é elevado.

Na região Norte do Brasil, a teca pode ser cultivada com baixo risco climático, exceto nas áreas que são atingidas por alagamentos e ao noroeste, onde o volume de precipitação pluviométrica é muito elevado, principalmente na fronteira com a Colômbia.

Na região Nordeste do País, a teca pode ser cultivada, com baixo risco climático, nas áreas situadas na Zona da Mata e no bioma Cerrado, exceto na região do Semiárido, onde o volume de precipitação pluviométrica é baixo e sua distribuição anual é irregular.

Na região Centro-Oeste, a teca também pode ser cultivada com baixo risco climático, exceto no extremo sul da região, onde existe risco de geada. Nas demais áreas desta região, contudo, a precipitação pluviométrica é sazonal e ocorre uma grande estação seca, com aproximadamente seis meses de baixo volume de chuvas, conferindo alto risco de déficit hídrico, o que não é impeditivo para o cultivo da espécie, mas certamente impacta na produtividade e aumenta o risco de incêndios florestais, principalmente na zona de transição do clima tropical do bioma Cerrado para o Semiárido do bioma Caatinga.

Na região Sudeste, pode-se cultivar a teca em áreas de baixo risco climático. No entanto, existem zonas de altitude, com alto risco de geada, em que a teca não se desenvolve. No noroeste dessa região, ocorre a redução da precipitação pluviométrica, principalmente nas áreas de contato entre a Mata Atlântica e o Cerrado, que não impede o cultivo da teca, mas pode impactar a sua produtividade.

Na região Sul, o risco de geada é alto e, na maior parte da região, não é possível o cultivo da teca, exceto no norte do Paraná, onde as temperaturas são maiores. Apesar disto, podem ocorrer geadas em menos de 20% dos anos e a região é, portanto, classificada como “favorável”. Os riscos são menores no noroeste do Paraná e na região compreendida entre os municípios de Bandeirantes e Cambará (nordeste da região).

Referências

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS desktop**: release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2011.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.5086.

FIGUEIREDO, E. O. **Reflorestamento com teca (*Tectona grandis* L. f.) no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 65). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117320/1/4495.pdf. Acesso em: 17 jun. 2021.

GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S. Considerações sobre metodologias para zoneamento agrícola em escala regionalizada. **Agrometeoros**, v. 26, p. 275-285, 2018. DOI: https://doi.org/10.31062/agrom.v26i2.26426.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 25-73. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149956/1/2008OL-06.pdf. Acesso em: 17 jun. 2021

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B.; BRAGA, H. J.; CAVIGLIONE, J. H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Zoneamento climático**: *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008. 17 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 175). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/315638/1/Doc175.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

JAIN, A. K.; MURTY, M. N.; FLYNN, P. J. Data clustering: a review. **ACM Computing Surveys**, v. 31, n. 3, p. 264-322, 1999. DOI: https://doi.org/10.1145/331499.331504.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; CASTRO, F. S.; PIMENTA, L. R. Zoneamento climático para teca, cedro australiano, nim indiano e pupunha no estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 671-680, 2013. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v43i4.30914.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 382 p.

MUÑOZ, M. E. S.; GIOVANNI, R.; SIQUEIRA, M. F.; SUTTON, T.; BREWER, P.; PEREIRA, R. S.; CANHOS, D. A. L.; CANHOS, V. P. OpenModeller: a generic approach to species potential distribution modelling. **GeoInformatica**, v. 15, n. 1, p. 111-135, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s10707-009-0090-7.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L. f. (teca). **Boletim Técnico**: Série Extensão, v. 7, n. 33, p. 1-29, 1998.

THEODORIDIS, S.; KOUTROUMBAS, K. **Pattern recognition**. San Diego: Academic Press, 1998.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; PANTANO, A. P.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 334 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143521/1/Atlas-climatico-da-regiao-Sul-do-Brasil.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021

Anexos:

Anexo 1. Grupos com características climáticas distintas no Brasil e índices bioclimáticos correspondentes a cada grupo.

Grupos		Altitude (m)	bio 1	bio 2	bio 3	bio 4	bio 5	bio 6	bio 7	bio 8	bio 9	bio 10	bio 11	bio 12	bio 13	bio 14	bio 15	bio 16	bio 17	bio 18	bio 19
Grupo 1	> valor	1280	27,4	15,5	82	2156	35,2	21,4	22,5	27,9	27,9	28,4	26,6	1602	270	95	740	740	312	479	694
	< valor	7	20,1	6,8	56	561	27,2	11,1	10,2	20,8	17,8	21,2	17,8	418	76	0	209	209	1	18	1
Grupo 2	> valor	518	27,7	14,0	89	997	35,9	23,0	20,5	27,3	28,1	28,8	27,0	3583	577	71	1554	1554	268	565	1354
	< valor	1	24,2	7,5	66	256	30,7	14,5	9,6	23,9	24,0	24,9	23,5	1121	231	0	645	645	2	18	165
Grupo 3	> valor	1357	27,4	14,8	78	3079	36,3	19,8	21,8	28,1	26,7	28,4	26,4	2553	388	52	1119	1119	207	779	358
	< valor	66	17,5	9,8	56	258	25,2	6,7	13,1	19,6	14,6	19,7	14,3	981	164	0	434	434	5	87	24
Grupo 4	> valor	1190	25,8	14,3	68	4789	35,9	15,8	27,1	28,8	23,6	29,0	22,2	2072	298	138	806	806	478	800	505
	< valor	2	14,6	7,5	40	2074	24,2	4,3	16,3	11,8	10,4	17,9	8,9	463	76	2	199	199	11	191	12
Grupo 5	> valor	1154	28,4	11,8	92	2056	36,0	23,2	18,0	28,0	28,9	29,6	27,8	4186	668	168	1786	1786	634	1388	1778
	<valor	1	20,9	6,8	62	248	26,4	14,8	8,7	20,5	21,0	21,3	20,4	1710	211	2	605	605	22	117	210
Grupo 6	> valor	1705	21,8	17,3	56	6149	36,3	8,3	33,7	27,0	21,7	27,6	16,3	1024	180	58	484	484	180	479	188
	< valor	2	10,0	11,4	45	3521	26,2	-3,3	23,8	9,8	4,2	17,1	2,7	153	19	1	49	49	8	34	9
Grupo 7	> valor	2665	23,7	16,3	79	5703	32,4	15,9	31,4	26,2	22,0	26,3	21,3	4601	469	303	1294	1294	986	1261	1037
	< valor	9	3	4,3	43	1267	9,6	-8,5	9,3	-1,3	-3	4,3	-4,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Grupo 8	> valor	3188	28,8	16,6	92	2980	35,7	23,1	25,3	28,8	28,3	29,8	28,0	3422	490	140	1245	1245	461	967	1190
	< valor	2	13,8	7,5	60	165	20,8	4	9,6	14,8	10,7	15,2	10,5	370	70	0	179	179	4	38	7
Grupo 9	> valor	1200	27,0	13,2	92	663	33,7	22,1	14,2	26,7	27,2	27,4	26,4	7341	832	424	2411	2411	1384	1605	2162
	< valor	38	19,5	7,3	78	220	25,3	13,7	8,1	19,3	19,6	19,8	18,8	2473	244	125	703	703	448	478	496
Grupo 10	> valor	5159	15,5	19,6	92	4765	26,2	9,9	31,1	19,3	14,8	19,3	14,8	2584	382	130	976	976	404	705	823
	< valor	1800	-5,4	7,9	50	187	6,8	-16,4	9,4	-9,1	-2,3	-1,0	-10,0	15	4	0	7	7	0	6	0

Anexo 2. Variáveis bioclimáticas e variáveis climáticas correspondentes.

Variável bioclimática	Variável climática correspondente
bio1	Temperatura média anual (°C)
bio2	Variação diurna da temperatura (temperatura máxima – mínima) (°C)
bio3	Isotermalidade (bio2 /bio7)
bio4	Sazonalidade da temperatura
bio5	Temperatura máxima da semana mais quente (°C)
bio6	Temperatura mínima da semana mais fria (°C)
bio7	Intervalo anual da temperatura (Bio5-Bio6) (°C)
bio8	Temperatura média do período mais úmido (°C)
bio9	Temperatura média do período mais seco (°C)
bio10	Temperatura média do período mais quente (°C)
bio11	Temperatura média do período mais frio (°C)
bio12	Precipitação anual (mm)
bio13	Precipitação da semana mais úmida (mm)
bio14	Precipitação da semana mais seca (mm)
bio15	Sazonalidade da precipitação
bio16	Precipitação do período mais úmido (mm)
bio17	Precipitação do período mais seco (mm)
bio18	Precipitação do período mais quente (mm)
bio19	Precipitação do período mais frio (mm)



7

Produção de mudas seminais de teca

Sidney Fernando Caldeira

Introdução

A produção de mudas florestais é um processo que requer espaço físico, conhecimento da reprodução e métodos de produção adequados às espécies de interesse, além da disponibilidade de recursos para a sua implementação. Se a atividade for comercial, ainda é necessário conhecer o mercado de mudas na região onde se pretende instalar o viveiro. Neste capítulo são inicialmente apresentados os conceitos básicos sobre os tipos de viveiros florestais.

Como a teca é espécie exótica e seus frutos são utilizados como sementes e chamados diásporos, são detalhadas as suas características morfofisiológicas, as quais devem ser consideradas na produção de mudas seminais. É também descrita a produção de muda embalada e de raiz nua.

O tema comercial é abordado de forma restrita, por sua variação local, pela dispersão dos consumidores, principalmente na região Centro-Oeste e Norte e pela indisponibilidade de informações. Durante a década de 2010, o que se observou foi o decréscimo na produção de mudas seminais e o aumento de mudas clonais e, nos últimos cinco anos, relativa estagnação da área plantada com teca no Brasil. Informações recentes sobre comercialização de sementes e de mudas seminais no mercado interno e para o exterior não são divulgadas pelos produtores, apenas relatos não publicados de algumas exportações de mudas clonais e para outros estados do Brasil. Neste capítulo, além das referências internacionais tradicionais, mais de 85% das citações são nacionais, para disponibilizar as informações aos profissionais e interessados na produção de mudas seminais de teca.

Viveiros florestais

O viveiro florestal é a área física destinada à produção de mudas. O tamanho de sua área depende da quantidade de mudas e dos métodos associados às espécies produzidas. Estes fatores ainda afetam a dimensão e as características da estrutura do viveiro associada à produção, como o tipo de canteiro, de casa de vegetação, de área de aclimatação, de sistema de irrigação e de depósito de água, além das edificações, como galpões para ferramentas, embalagens, substratos e insumos e, também, àquelas relacionadas ao pessoal de apoio. Toda área do viveiro deve ser limitada por cerca e protegida com quebra-ventos, instalados

a uma determinada distância que evite o sombreamento, principalmente na área destinada aos canteiros de produção.

A classificação em viveiro temporário está relacionada a menor demanda de produção de mudas de determinada espécie, para plantio em áreas e períodos limitados. Assim, esse tipo de viveiro tem menor dimensão e é estabelecido próximo ao local de plantio. Esses viveiros normalmente são construídos por empresas que plantam pequenas áreas, com espécies específicas e as áreas de plantio se encontram distantes de fornecedores de mudas. Os viveiros comerciais são considerados permanentes, com área variável, desde pequenas a grandes e produzem mudas de diferentes espécies florestais, priorizadas em função da demanda e localizados próximos aos centros de maior consumo.

Um tipo especial de viveiro permanente está associado às empresas com plantações florestais industriais, as quais optam pela verticalização desde os trabalhos de melhoramento florestal, de produção das mudas, de implantação, de condução, de colheita e de produção industrial. O viveiro é implantado em local relativamente equidistante das inúmeras áreas de plantio. Tem grandes dimensões, em razão da quantidade de mudas seminais ou clonais de interesse a ser produzida. A produção é constante e relacionada ao período de rotação e à demanda requerida. Assim, envolve tecnologia e mecanização em praticamente todo o processo de produção de mudas.

As características das árvores de teca, de suas flores e frutos, sementes, germinação, produção de mudas e características de cultivo e produção foram temas tratados em diversas publicações internacionais (Keiding, 1985; Kaosa-Ard, 1986; Barroso, 1987; Chaves; Fonseca, 1991; White, 1991; Poulsen, 1994) e no Brasil (Figueiredo, 2005; Figueiredo et al., 2005; Cáceres Florestal, 2006; Figueiredo; Sá, 2015). Estão também disponíveis publicações nacionais que trataram sobre viveiros florestais, com abordagem sobre sementes e mudas (Carneiro, 1995; Gomes; Paiva, 2004; Davide; Silva, 2008), contudo, estas não apresentaram informações específicas sobre a teca.

Sementes

A produção de mudas seminais de teca pressupõe o uso de sementes provenientes de matrizes com características silviculturais desejáveis para a produção de toras para serraria. Estas características estão associadas, principalmente, à sanidade e ao crescimento superior das árvores, à presença de fustes eretos, circulares, com poucos ramos e sem danos, além

da copa definida e sem danos. Ainda é necessário que essas matrizes sejam remanescentes de seleção prévia, efetuada com desbastes seletivos, de forma a garantir a obtenção de sementes melhoradas.

A Comissão Estadual de Sementes e Mudas (CESM), da Delegacia Federal de Agricultura de Mato Grosso, estabeleceu critérios para campos de produção de sementes em área de produção de sementes (APS) e pomar de sementes (PS) de teca. Para ambos, são as mesmas exigências quanto ao calendário de obrigações, a área mínima de 5 ha, o isolamento de 500 m, o fruto da teca é utilizado como semente, cada lote de sementes poderá ter um máximo de 1.000 kg, peso da amostra para análise de 2 kg, padrão mínimo com 95% de pureza e 35% de germinação, considerando-se uma plântula por fruto e embaladas em saco de papel Kraft ou de plástico, tamborete ou caixa de papelão, com peso líquido de 5 kg, 10 kg ou 15 kg. São diferentes os seguintes critérios para APS e PS: a idade mínima das árvores matrizes de 15 anos e de 5 anos, respectivamente, e o período e o número de vistorias, destacando para a APS, a vistoria de seleção e marcação dos indivíduos fenotipicamente superiores e, para PS, a coleta dos propágulos e a enxertia das mudas (CESM, 1998b).

Estas informações são auxiliares e devem ser consideradas pelo produtor de mudas que possuir povoamentos para coleta de sementes e estabelecer novas plantações em sua própria área. Quando as mudas forem produzidas por terceiros, o adquirente deve se informar sobre a origem das sementes utilizadas. Existe legislação específica, Lei nº 10.711 de 5 de agosto de 2003, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas (Brasil, 2003), cuja regulamentação foi atualizada pelo Decreto nº 10.586 de 18 de dezembro de 2020 (Brasil, 2020) originalmente efetuada pelo Decreto nº 5.153 de 23 de julho de 2004 (Brasil, 2004), além de atos e normas complementares que são editados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Para a produção de mudas seminais de teca são utilizados seus frutos, em razão da dificuldade para a extração das sementes, as quais são oleosas, pequenas e delicadas, localizadas em lóculos dentro do endocarpo lenhoso e rígido, coberto pelo mesocarpo feltroso, além do exocarpo membranoso e fino. O desenvolvimento e a utilização de ferramentas para extração das sementes são ineficientes, em decorrência do baixo rendimento operacional e, após a semeadura, as sementes são mais afetadas pela ação de fungos, com destaque para *Fusarium* spp. Assim, cada fruto é tratado com uma semente e denominado diásporo, ainda que o fruto possa apresentar os quatro lóculos vazios ou conter de uma a quatro sementes (Figura 1).



Figura 1. Diásporos de teca sem o exocarpo e cortados transversalmente, à esquerda com os quatro lóculos vazios, sem sementes e, para a direita, respectivamente, com uma, duas, três e quatro sementes dentro do endocarpo.
Fonte: Caldeira e Albuquerque (2010).

Na região de origem da teca, o Sudeste Asiático, a floração ocorre nos meses de junho a setembro e a produção dos frutos de fevereiro a abril, no início do verão; enquanto na América Central, a floração ocorre de maio a julho e a coleta dos frutos de julho a setembro (Chaves; Fonseca, 1991). Na região de Cáceres, Mato Grosso, a floração inicia cerca de um mês após as primeiras chuvas, em novembro ou dezembro, com duração aproximada de dois meses. Em seguida, há o desenvolvimento dos frutos, os quais serão colhidos de julho a outubro (Cáceres Florestal, 2006). Em Piracicaba, São Paulo, a floração ocorre de janeiro a março e os frutos ficam aptos à colheita de abril a junho (Cardoso, 1991).

Como a síndrome de polinização da teca é melífera, o consórcio com a criação de abelhas pode ser utilizado para aumentar o número de sementes por fruto e diminuir a frequência de frutos com os lóculos vazios, além de permitir a diversificação das fontes de renda por meio da produção e comercialização do mel. Parte dos frutos é predada por aves da família Psittacidae, como as araras. A dispersão natural dos diásporos ocorre por barocoria e a maior concentração no banco de sementes ocorre na área de projeção da copa. Os frutos podem ser colhidos diretamente na copa da árvore ou no solo, após as suas quedas. Neste período, cada fruto apresenta o exocarpo, uma membrana fina de cor verde claro que envolve o fruto, facilmente removida no beneficiamento, após secagem, sendo quebradiça e de cor marrom clara.

A maioria dos plantios seminais de teca no Brasil foi implantada com mudas produzidas com diásporos das Áreas de Produção de Sementes (APS) da Cáceres Florestal. Em estudo com treze lotes de sementes de três dessas APS, Caldeira et al. (2000) registraram que

82,2% dos frutos apresentam dimensão entre 12,5-16,0 mm, peso de mil sementes de 0,681±0,032 kg, peso hectolitro de 0,2705±0,003 kg, com 1.471±72 diásporos kg^{-1}. A frequência média de frutos sem sementes é 32,5% e varia entre 10-47%. A maior parte dos frutos apresenta uma semente, média de 47,3% e com duas, três e quatro sementes, respectivamente de 16,9%, 2,4% e 0,9%. Ao considerar apenas uma plântula por diásporo, a emergência média foi 58,7% e variou de 29,7% a 70,8%. Com o teste de corte, aplicado nos diásporos sem emergência, constatou-se que 69,6% não continham sementes e 27,9%, 2,4% e 0,1% continham, respectivamente, uma, duas e três sementes. Nenhum diásporo não germinado apresentou quatro sementes.

Para a análise da viabilidade de sementes de teca, sempre é considerada a germinação de uma plântula por diásporo, o seu fruto (Keiding, 1985). Devido às diferenças observadas nas sementes das APSs produzidas no Brasil, em relação aos registros de literatura em sua região de origem, Caldeira et al. (2001) concluíram que, na emergência de plântulas no campo, a maceração em água seguida de secagem por três dias e a repetição do processo por mais cinco vezes é semelhante à imersão em água corrente por 24 h, contudo, para a análise em câmara de germinação, a maceração e a secagem por seis vezes é mais eficiente. Ensaios com sementes recém-colhidas e armazenadas propiciaram resultados semelhantes (Caldeira et al., 2005). Nas Regras para Análise de Sementes, além da maceração, também é indicada a imersão em água corrente por 24 h (Brasil, 2009).

Para superar a dormência do mesocarpo e do endocarpo dos diásporos de teca, Dias et al. (2009) indicam a imersão em ácido sulfúrico (33,5%) durante três minutos, o que tem implicações de ordem prática nos viveiros. De outro lado, Vieira et al. (2009) indicam o aquecimento dos diásporos em estufa sob temperatura de 80 °C, por 12 h, seguido da sua imersão em água corrente por 6 h. Para facilitar o aquecimento de diásporos de teca, um coletor solar desenvolvido para desinfestação de substratos utilizados na propagação de plantas (Ghini; Bettiol, 1991; Ghini, 1993) foi utilizado por Rocha et al. (2008), para aumentar a temperatura até 80 °C e auxiliar o processo de superação da dormência, quando as sementes são depositadas para germinar nos meses de julho, em regiões com temperaturas mais baixas. Os autores recomendam que os diásporos devem ficar no coletor (Figura 2) por, pelo menos, quatro dias de radiação plena. Coimbra et al. (2014) recomendam, complementarmente, o aquecimento a seco associado ao uso do mesmo coletor solar.

Segundo Caldeira e Albuquerque (2010), os diásporos de teca coletados após a queda natural apresentam maior viabilidade, média de 60,6%, em relação aqueles coletados após a queda precoce por ação de ventos fortes, média de 20%. Estes diásporos de

queda precoce apresentam maturação pós-colheita e atingem viabilidade semelhante aqueles de queda natural em período que varia de 64-269 dias e a maior viabilidade aos 115 dias após a queda, média de 53%. A partir dos 115 dias, a viabilidade decresce e, aos 331 dias, é de 30%, em média.

O período de produção da muda seminal de teca varia em torno de 90 dias para mudas embaladas e, considerando o início do plantio de novembro a dezembro, a semeadura deverá ocorrer entre junho e agosto. Neste período, em algumas regiões, a temperatura do ambiente é menor que 30 °C, considerada a ideal para a germinação da teca. Quando a temperatura do solo é menor que 25 °C, a Cáceres Florestal (2006) recomenda, após o umedecimento por 24 h em água corrente ou com quatro trocas de água, a cada 6 h, envolver os diásporos com lona de plástico preta e o conjunto ficar exposto à insolação entre 24-48 h.



Figura 2. Coletor solar para desinfestação de substratos desenvolvido e utilizado para aquecimento de diásporos de teca e para aumentar a germinação, quando semeados em regiões com temperaturas mais baixas.
Fontes: Ghini e Bettiol (1991) e Ghini (1993).

Caldeira e Caldeira (2001) não encontraram diferenças nas emergências das plântulas em substrato areia, com a prévia imersão e não imersão dos diásporos em água corrente, desde que combinada com a cobertura de 1-5 dias por lona de plástico preta. Contudo, segundo Caldeira e Vieira (2001), a maior emergência de diásporos de teca em sementeira é favorecida com o uso do substrato areia com terra orgânica combinado com a sobreposição com lona de plástico preta por quatro dias. Se o substrato for a areia, o período de sobreposição da lona deverá ser de seis dias. Nestas condições, a imersão prévia dos diásporos em água por 48 h, com oito trocas de água, não aumentou a emergência.

Sales et al. (2018) detectaram em sementes de teca, com e sem mesocarpo, de duas regiões, sendo de Goiás e de São Paulo, os gêneros dos fungos: *Fusarium*, *Trichoderma*, *Botryodiplodia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria* e *Plenodomus*. Apenas os gêneros *Fusarium* e *Botryodiplodia* foram patogênicos às mudas e *Fusarium* foi o único transmitido. Coimbra et al. (2014) não recomendam o uso do fungicida Fludioxonil + Metalaxyl-M e o armazenamento de diásporos de teca previamente tratados para superar a dormência.

Os diásporos de teca com 58% de viabilidade inicial e acondicionados em lata com tampa, saco de plástico ou saco de papelão e armazenados em sala climatizada, com a temperatura média de 19,1 °C e 67,7% de umidade relativa, após 64 meses, apresentam viabilidade de 40%. Este valor é superior aos 35% que foi padronizado como viabilidade mínima para lotes de teca, pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas de Mato Grosso. Em ambiente de sala, com média de 28 °C de temperatura e 61,7% de umidade relativa, a deterioração é mais rápida e, a partir de 24 meses de armazenamento, a viabilidade é menor que o padrão mínimo. O acondicionamento em embalagem de ráfia sintética ou em embalagem totalmente permeável não são adequados nesses ambientes de armazenamento (Caldeira et al., 2004b).

A teca se adaptou ao cultivo no Brasil, em plantações homogêneas ou em integração com agricultura e, ou pastagem, contudo, segundo Pitt (1969), as experiências com enriquecimento de florestas autóctones na Amazônia não foram bem-sucedidas. Como a espécie é exótica, a produção de mudas seminais em viveiro foi necessária e ainda é utilizada. Com a importação de materiais genéticos superiores e o domínio das técnicas de reprodução assexuada, a produção de mudas clonais é mais utilizada, principalmente, pelas empresas que plantam maiores áreas.

Uma opção de uso de mudas seminais passou a ser utilizada no Brasil, quando as primeiras plantações atingiram o período de rotação e passaram a ser colhidas. No início deste século, a Cáceres Florestal passou a efetuar o corte raso e optou pela regeneração natural por alto fuste. Neste sistema, a produção de mudas não é necessária, pois o

banco de sementes existente na serapilheira é utilizado para a regeneração natural das mudas, no talhão colhido.

Em povoamento com 36 anos de idade, antes do corte raso, Siqueira (2017) constatou que o banco de sementes continha em torno de 675 sementes m^{-2}, com média de 11,7% de viabilidade, tempo médio de germinação de nove dias, e o potencial de produção de 12 mudas m^{-2}. A maioria das sementes do banco era composta de sementes antigas, mas a maior contribuição para a regeneração era das sementes de incorporação recente.

Na região de Cáceres, em solo arenoso, Correa (2019) registrou que o banco de sementes em povoamento de teca com 34 anos, antes da colheita, apresentava em média 526 sementes m^{-2}, com germinação de 13,4% e tempo médio de oito dias. A ausência de serapilheira diminui a germinação, contudo, esta não foi afetada com a variação de massa da serapilheira. A qualidade das mudas produzidas com as sementes do banco e cobertas com serapilheira é superior àquelas produzidas em tubetes ou em sacolas de plástico. Essa produção complementar de mudas no viveiro possibilita corrigir eventuais falhas da regeneração natural no talhão, além da opção de transplante de mudas de área com excesso de regeneração.

As vantagens da regeneração natural por alto fuste estão relacionadas ao menor custo de implantação, à produção de muitos indivíduos e à manutenção de indivíduos adaptados ao sítio. As desvantagens são o maior número de tratamentos silviculturais, irregularidade na distribuição das mudas e a intensa mato-competição. Ainda existem condicionantes relacionadas à espécie, como a frutificação em período desfavorável para a regeneração, produção de pequena quantidade de sementes e pequena capacidade de dispersão, além de limitações relacionadas à topografia desfavorável à dispersão (Samek, 1974).

No caso da teca, as características são favoráveis ao processo, desde que a regeneração esteja limitada ao talhão colhido, em razão da síndrome de barocoria. Quanto às mudas regeneradas, estas são provenientes das árvores que foram previamente selecionadas para o corte final, e não apresentam defeitos no sistema radicular. A produção média de 12 mudas m^{-2} propicia a seleção de mudas com maior vigor, sadias e sem danos na parte aérea, além de compensar possíveis falhas de regeneração dispersas em parte da área. O processo não exige qualquer tipo de atividade física no solo, mas a serapilheira deverá ser fracionada previamente à regeneração. Serão também necessárias diversas operações de capina e de roçada após a regeneração, para evitar a mato-competição excessiva e, no período seco, a marcação das linhas e a remoção do excesso de mudas, em função da densidade e do arranjo espacial desejados.

Métodos de produção de mudas

Os métodos mais utilizados para a produção de mudas seminais de teca são: a muda embalada em recipiente individual e a muda de raiz nua. Este segundo tipo de muda é conhecido como “toco” ou “toco-baixo”, em inglês stump, para diferenciar da muda “toco-alto”, em inglês stripling. As mudas do tipo toco foram muito utilizadas com o início das plantações de teca no mundo, em razão da alta capacidade de brotação da espécie, além do crescimento rápido da brotação, o que possibilita o acesso à luz e menor risco de sombreamento com a mato-competição. Naquela época não eram utilizados herbicidas e as atividades de roçada e capina eram manuais.

No Brasil, até o final do século passado, a muda toco era o método mais utilizado. Com o aumento do interesse pela plantação de teca e a maior demanda por mudas, o método passou a ser menos utilizado, em razão do maior tempo de produção requerido, maior ocupação de área com os canteiros e a maior variação no padrão das mudas. De outro lado, o avanço tecnológico na produção de mudas florestais em tubetes (Figura 3A e B), com menor uso de área, diminuição das perdas causadas por insetos e doenças, redução no período de produção e maior grau de padronização das mudas, popularizou o método entre os produtores e, até mesmo, daqueles que utilizavam os sacos de plástico (Figura 3C e D). Além disso, o uso de herbicidas e das operações de capina e roçada mecanizadas foram implementados e aumentaram o índice de pegamento no plantio, para este tipo de muda.

Ainda assim, a muda toco é uma opção para plantio em áreas pequenas e para os produtores com poucos recursos, tanto para a aquisição de mudas quanto para as práticas de capina e de roçada e que utilizam mão de obra familiar. De modo geral, as vantagens estão relacionadas ao armazenamento em menor área e cuidados simples de manutenção, bem como o custo de transporte, considerando que um saco de ráfia comporta cerca de 600 mudas toco com maiores dimensões e cerca de 900 mudas menores e que podem ser amontoados durante o transporte. O rendimento de plantio é maior, com maior índice de pegamento e essas mudas são mais tolerantes a veranicos em relação às mudas embaladas em sacos de plástico, enquanto estas são mais tolerantes em relação àquelas produzidas em tubetes. Finalmente, o arranque da brotação apresenta maior desenvolvimento inicial em relação à muda embalada. Segundo Figueiredo e Sá (2005), os valores de aquisição de sementes, preparo de canteiros, irrigação, fertilização, remoção e preparo das mudas toco são similares aos praticados em viveiros florestais. Contudo, na produção de mudas embaladas em sacos de plástico ou tubetes, os custos serão superiores.



Figura 3. Viveiro de produção de mudas de teca com irrigação e embaladas em tubetes: visão geral (A) e detalhe (B) e em saco de plástico, visão geral (C) e detalhe (D).

De outro lado, as desvantagens estão relacionadas ao maior período de produção que expõe as mudas às ações de origens bióticas e abióticas. É comum a ação de térmitas nas raízes e, em solos mais arenosos, a irrigação pode ser necessária. Não deixar os tocos cicatrizarem após o corte das raízes pode expor os tecidos internos à ação de patógenos como *Agrobacterium tumefasciens* e de fungos oportunistas que apodrecem a região do colo e, no futuro, contribuem para a queda da árvore, por ação de ventos fortes. Após o plantio, a remoção do excesso de brotação pode ser necessária para evitar bifurcação precoce e a operação deve ser efetuada no início do período seco. Segundo Cáceres Florestal (2006), a muda embalada tem maior custo de produção, de transporte e de plantio, em relação à muda toco. A maior diferença entre a muda embalada é o período de produção, de 2-3 meses, em relação à muda toco, de raiz nua, de 4-11 meses.

Muda embalada

Os fatores que afetam o período de produção são: tipos de embalagem e substrato, formas de semeadura e práticas de irrigação e de fertilização. A maior facilidade de manejo das mudas embaladas possibilita a produção de lotes mais homogêneos e mudas padronizadas ao interesse do consumidor. A embalagem mais utilizada em viveiros comerciais é o tubete. Contudo, para a produção de pequena quantidade de mudas ou em período limitado, o uso de saco de plástico é uma alternativa, considerando o menor custo em relação ao tubete. No plantio, enquanto o tubete é removido e reaproveitado por vários anos, o saco de plástico é removido e descartado. Assim, definir o tipo de embalagem é a primeira decisão a ser tomada, pois afetará as estruturas que o viveiro deverá ter, como os canteiros onde serão depositadas as sacolas de plástico e, para os tubetes, as grades de acondicionamento e os trilhos ou a estrutura de suporte das grades. O tipo de embalagem ainda afeta o tipo de substrato a ser utilizado e a irrigação.

De modo geral, Davide e Faria (2008) relacionaram as vantagens e desvantagens quanto aos usos de saco de plástico e de tubete. A maior vantagem no uso do saco de plástico é o menor investimento inicial e, entre outras, as maiores desvantagens estão relacionadas ao enovelamento de raízes, substrato é mais pesado, com implicações nos custos de transporte e armazenamento, plantio mais demorado e maior risco de ocorrência de contaminação ou doenças fúngicas. Os autores destacaram as maiores desvantagens do tubete relacionadas ao maior investimento inicial, maior frequência de irrigação e de fertilização em razão da menor quantidade de substrato e à lixiviação de nutrientes ser mais intensa. De outro lado, entre outras vantagens, principalmente aquelas opostas às desvantagens do saco de plástico.

Acerca do tamanho das embalagens, as mudas se desenvolvem em tubetes de 80 cm^3 até 300 cm^3 e, sendo que naqueles de maior volume, as mudas apresentam maiores médias em altura (H), diâmetro do colo (D), relação H/D e massa seca, aos 85 dias após o transplante (Caldeira et al., 2004a). Contudo, o consumo de substrato é maior e a quantidade de tubetes transportada ao campo, por área da caçamba ou da carreta, é menor, o que pode acarretar maior gasto com transporte das mudas, em razão do maior número de viagens.

De outro lado, a dimensão do saco de plástico dependerá do tamanho da muda que se deseja produzir, em razão do período de permanência no viveiro. As dimensões de sacos mais comuns são entre 7-12 cm de diâmetro por 18-25 cm de altura. A desvantagem do uso desta embalagem está relacionada às operações de carregamento, transporte, descarregamento, distribuição no campo e plantio, que são mais demoradas em relação aos tubetes. No caso de tubetes, é possível a sua remoção no viveiro e os torrões com as mudas são enrolados em faixa de plástico, em formato conhecido como “rocambole”.

Em viveiros particulares, com pequena produção e para períodos limitados, podem ser utilizadas embalagens de outros produtos, na forma de reuso. Qualquer que seja a embalagem, todas deverão ser coletadas e retornarão ao viveiro. Os tubetes serão reaproveitados e as outras embalagens descartadas de forma adequada.

O uso de saco de plástico pressupõe o uso de substrato mais denso, como terra de subsolo, misturada ou não com areia, matéria orgânica, esterco curtido, fertilizantes ou outras combinações. Existem inúmeras formulações para serem utilizadas, mas é necessário que elas propiciem a sustentação vertical de cada saco. Para os tubetes, os substratos são menos densos, pois os tubetes são de plástico rígido, o que favorece a sustentação vertical. Os tubetes apresentam aro dilatado na parte superior para o encaixe e sustentação em grades de acondicionamento.

Existem também várias formulações para preparar o substrato para tubetes. Muitas delas utilizam material vegetal triturado e disponível nas regiões onde são preparados. É comum o uso de casca de pinus parcialmente fermentada, casca de arroz parcialmente carbonizada ou outros produtos. A existência de substratos comerciais é a opção para a produção limitada. Quando a produção é em larga escala, o substrato é preparado pelo produtor das mudas.

Um equívoco a ser evitado é a utilização de substratos para tubetes em sacos de plástico, pois não propiciam a sustentação vertical da embalagem e, durante o manejo, as raízes podem ser feridas por falta de consistência e o torrão de substrato se desfazer com a remoção do saco de plástico, antes do plantio, principalmente se não estiver úmido. De outro lado, substratos mais densos não são adequados para tubetes, pois a maior densidade aumenta a massa do conjunto e implica em dificuldades no manuseio, em especial na ocasião do plantio, bem como no transporte das grades com os tubetes.

Ainda que não seja comum o uso em escala comercial, diferentes proporções de lodo de esgoto foram testadas experimentalmente como substratos para produção de mudas seminais de teca em tubetes de 120 cm^3, por Gomes et al. (2013). Os autores concluíram que a proporção 60:30:10 em volume de lodo de esgoto: substrato comercial: terra de subsolo é viável e promissor. De outro lado, Trazzi et al. (2013) testaram substratos na produção de mudas seminais de teca em tubetes de 280 cm^3 compostos de esterco bovino, cama de frango ou esterco de codorna, associado à terra de subsolo e à fração de 25% de substrato comercial. Os autores registraram melhoria das propriedades químicas nas composições e concluíram pela sua indicação, pois resultam em ganhos nutricionais para as mudas.

Nesta mesma linha de pesquisa, os usos de resíduos urbanos e industriais foram testados como alternativas de substratos para a produção de mudas de teca, por Trazzi et

al. (2014b). Os autores recomendaram misturar a proporção de 60% ou 80% de biossólido resultante de estação de tratamento de esgoto urbano associado à fibra de coco triturada ou de 80% de biossólido associado à casca de arroz carbonizada. Segundo Trazzi et al. (2014a), o substrato produzido com a combinação de 40% de lodo de esgoto tratado, 30% de casca de arroz carbonizada e 30% de fibra de coco apresenta características biométricas superiores em relação ao substrato comercial, além de maior acúmulo de N, P, Ca, Mg e S e com crescimento superior das mudas em relação às outras combinações e ao substrato comercial. Ainda, Trazzi et al. (2014c) compararam substratos constituídos com biossólidos ou com esterco de animais e concluíram que as maiores concentrações e a quantidade de nutrientes em mudas de teca produzidas em tubetes de 280 cm^3 foi com o uso de 80% de biossólidos + 20% de casca de arroz carbonizada e, para os estercos de animais, a maior quantidade de nutrientes foi obtida com o uso de 35% de cama de frango, associada à terra de subsolo e ao substrato comercial.

Quanto à semeadura, pode ser direta na embalagem ou em sementeiras e, neste caso, será necessário o transplante para o substrato depositado na embalagem. Existem vantagens e desvantagens nos dois processos, independentemente do tipo de embalagem. Para quem tem pequena disponibilidade de sementes e de espaço, a opção da sementeira com a repicagem de plântulas pode aumentar o rendimento na quantidade de mudas produzidas e na ocupação dos canteiros com os sacos de plástico ou das grades com os tubetes.

Isto decorre do critério utilizado para a análise da viabilidade dos diásporos de teca que considera apenas uma plântula por diásporo, entre aquelas que emergiram. Segundo Caldeira et al. (2000), de modo geral, a média é em torno de 58% de viabilidade, pois 32% dos frutos não contêm sementes, normalmente em razão de falta de polinização. Daqueles com viabilidade, 47% apresentam uma semente, 17% duas sementes, 3% com três sementes e 1% com quatro sementes. Como a plântula de teca tolera a repicagem, com mais de 98% de pegamento, para cada 100 diásporos, além das 58 mudas previstas pela análise de viabilidade, é possível produzir outras 25 mudas, totalizando 83 mudas (Figura 4C).

De outro lado, a semeadura direta na embalagem implicará em cerca de 40% das embalagens sem mudas, em razão dos diásporos sem sementes, enquanto em algumas embalagens haverá duas, três ou quatro plântulas que podem ser igualmente transplantadas. Contudo, a pequena dimensão da embalagem pode dificultar o manuseio. Ainda assim, em média, de cada 100 embalagens, outras 17 embalagens ficarão, provavelmente, sem mudas e deverão ser removidas do canteiro ou da grade. Seja na sementeira ou na embalagem, os diásporos são depositados com a cicatriz do pedúnculo para baixo e a parte oposta, a testa do fruto, deve ficar nivelada com a superfície do canteiro (Figura 4A). Assim, haverá combinação

da oferta de umidade na parte inferior e calor na parte superior do diásporo, o que favorece a germinação. Ainda, a raiz primária não será exposta ao risco de dessecamento, haverá a protusão da raiz primária ao lado da cicatriz do pedúnculo e emergência do hipocótilo e dos cotilédones (Figura 4B).

O transplante de plântulas de teca, segundo Caldeira et al. (2004b), deve ser feito quando estas apresentam os cotilédones abertos e o primórdio do primeiro par de folhas, pois resulta em maior índice de pegamento em relação ao transplante de plântulas com um ou dois pares de folhas desenvolvidos (Figura 5). Neste estágio, a plântula será removida do fruto sem qualquer dano, contudo, se a plântula não se apresentar livre do fruto, forçar a sua remoção poderá resultar em dano, comprometer o transplante e diminuir o rendimento. Após o transplante, Chaves e Fonseca (1991) recomendam o sombreamento durante os primeiros 15 dias e que a maior sobrevivência é apresentada pelas mudas com raízes secundárias, com dois a quatro folhas verdadeiras.

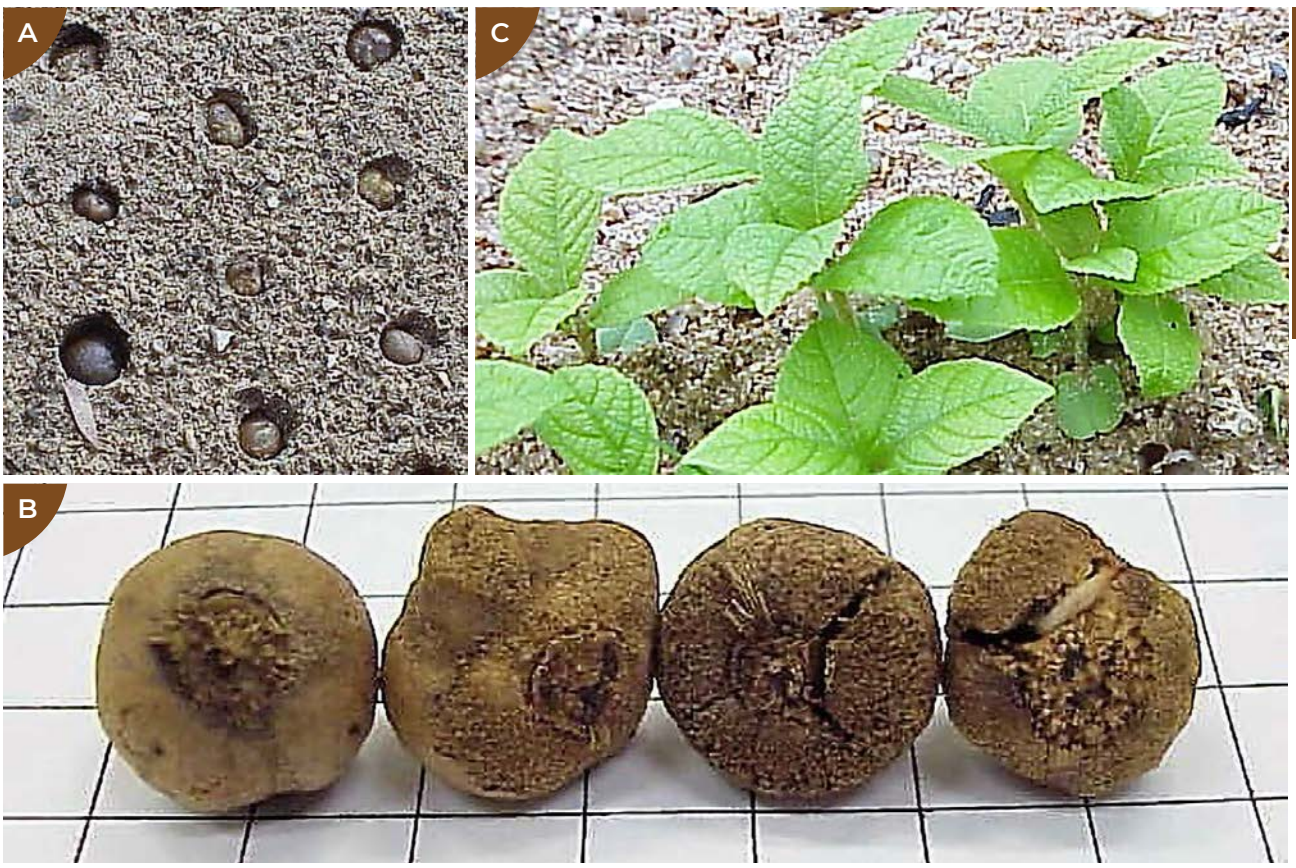


Figura 4. Diásporos de teca sem o exocarpo: semeados com a testa do fruto na superfície do substrato (A); à esquerda, com a cicatriz do pedúnculo à frente do fruto seco e, para a direita, o fruto umedecido, com rachadura pela hidratação da semente e com a emissão da raiz primária (B) e com uma, duas e três plântulas por diásporo, da esquerda para a direta (C).

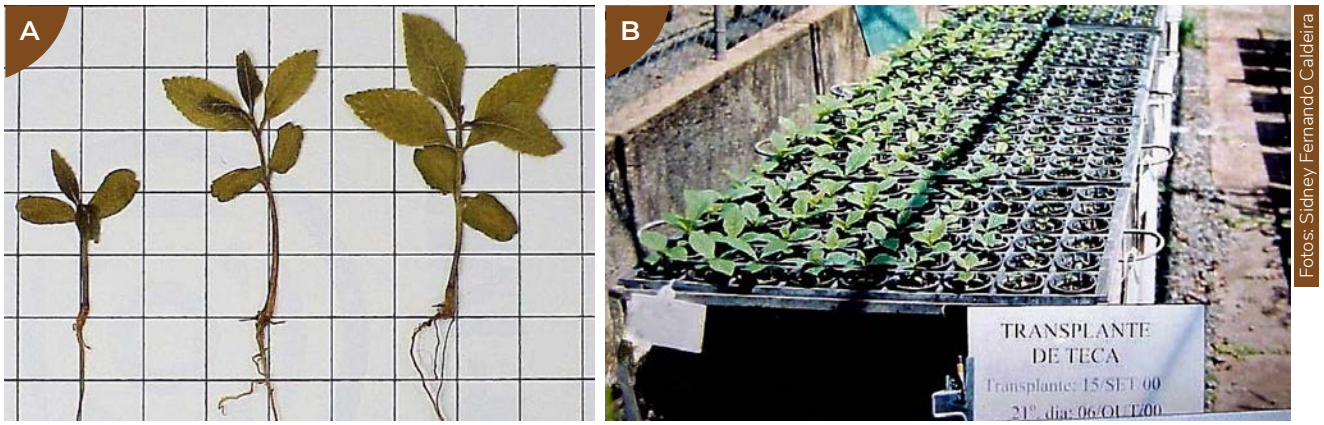


Figura 5. Tamanhos de plântulas de teca ideais para transplantes, da esquerda para a direita, com cotilédones abertos e primórdio do primeiro par de folhas; um par de folhas e primórdio do segundo par e dois pares de folhas e primórdio do terceiro par (A) e aspecto das mudas ao 21º dia após o transplante (B).

Com o pré-tratamento, a semeadura na profundidade correta e, com oferta de umidade e calor, a emergência dos cotilédones se inicia a partir do oitavo dia após a semeadura e a maioria até o 30º dia. As informações sobre germinações irregulares e demoradas em teca apresentadas nos trabalhos de meados do século passado eram relacionadas ao aproveitamento de sementes coletadas com poucos critérios. Atualmente, está sedimentada a informação de que cerca de 40% dos frutos de teca não têm sementes e isto se reflete na baixa viabilidade, em torno de 60%. De outro lado, com os pré-tratamentos adequados, o tempo médio de germinação oscila entre 12-18 dias, considerando a última leitura aos 30 dias após a semeadura, conforme recomendado pelas Regras de Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009).

Durante o período de permanência no viveiro, as mudas deverão receber vistorias diárias para a manutenção de umidade, de nutrientes e da sanidade. O sistema de irrigação deve ser previamente instalado, considerando que parte do período de produção das mudas ocorrerá em condições de ausência ou baixa precipitação pluviométrica. A existência de disponibilidade de água ou a construção de reservatórios será necessária. Uma característica da teca é a não tolerância ao encharcamento do solo ou do substrato utilizado. O substrato poroso e friável usado nos tubetes requer maior número de irrigações, mas cada uma com menor volume de água, enquanto para os sacos de plástico, o volume água de cada irrigação é maior, mas com maior intervalo entre as operações.

Quanto aos aspectos nutricionais, Barroso et al. (2005) observaram que os sintomas visuais da omissão de macronutrientes em solução nutritiva (N, P, K, Ca,

Mg e S) em mudas de teca é semelhante ao padrão de outras espécies florestais e afetam o crescimento inicial dessas mudas. Observaram também que os danos mais intensos de apodrecimento das raízes secundárias e de paralisação da emissão de novas raízes foram na ausência de N e Ca. Neste trabalho foram também apresentados os teores nutricionais da parte aérea e do sistema radicular quando as mudas foram submetidas à solução completa. Estas informações são importantes para manter a qualidade nutricional das mudas de teca.

Oliveira et al. (2018) testaram diferentes doses de calcário, sendo que a saturação de bases média de 36% proporcionou os melhores valores para crescimento, acúmulo de biomassa e qualidade das mudas de teca, aos 75 dias após o transplante. Quanto ao efeito da adubação de NPK no crescimento de mudas em sacolas de plástico, os maiores crescimentos foram registrados com a aplicação de 5 kg m^{-3} de N, 6 kg m^{-3} de P_2O_5 e 12 kg m^{-3} de K_2O (Vieira et al., 2018).

Em relação aos fungos micorrízicos em mudas seminais de teca, Correa et al. (2015) relataram a pouca dependência, mas informaram que o fungo arbuscular *Scutelospora heterogama* se destaca em relação aos benefícios no crescimento, enquanto Rodrigues et al. (2018) relataram que a inoculação dos fungos micorrízicos *Rhizophagus clarus* e outros dois isolados em mudas de teca proporcionaram maiores eficiências nas utilizações de nutrientes e resultaram em maiores crescimentos e maiores aquisições de K e S. De outro lado, para mudas clonais de teca, Alexandre et al. (2016) informaram que as inoculações de micorrizas arbusculares e rizobactérias são alternativas para otimizar a produção e o desenvolvimento das mudas.

Acerca de cuidados fitossanitários no viveiro, os problemas estão associados à ferrugem, causada por *Olivea neotectonae*, considerado o patógeno mais importante, tanto no viveiro quanto no campo. Podem também ocorrer manchas foliares, causadas por *Phomopsis tectonae*, combinadas ou não com a antracnose, causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, quase sempre associadas às condições de alta umidade e de algum grau de sombreamento. Em regiões mais úmidas existem relatos isolados de outros fungos tais como: *Rhizoctonia solani*, *Cylindrocladium parasiticum* e *Alternaria* sp., além da presença da alga *Cephaleuros virescens* na face adaxial da folha da teca (Caldeira, 2013; Caldeira et al., 2014). Dutra et al. (2006) registraram a presença de *Meloidogyne exígua* e de outros nematoides quando as mudas "tipo toco" de teca foram plantadas em solo coletado de lavoura cafeeira, no município de Varginha, MG.

As mudas de teca são produzidas sob pleno sol. Assim, a rustificação ocorrerá com a diminuição contínua do número de irrigações até atingir apenas uma diária. Na ocasião do plantio, normalmente os tubetes são removidos ainda no viveiro. Os torrões das mudas são acondicionados em lona de plástico preto, com cerca de 20 cm de largura e com comprimento variável para acondicionar entre 60-100 mudas na forma de rocambole. O número de mudas acondicionadas em cada rocambole é variável, em função do tamanho do tubete utilizado. Posteriormente, as mudas são irrigadas e transportadas ao campo para plantio imediato. Alguns produtores associam à irrigação, a aplicação de defensivos de forma preventiva, principalmente de cupinicidas, quando existe relato da ocorrência do inseto na área de plantio.

A rustificação de mudas em sacolas de plástico é semelhante, contudo, o intervalo entre as irrigações será maior em relação ao intervalo entre as irrigações para os tubetes. As mudas são levadas ao campo na embalagem, a qual deverá ser removida da sacola, na ocasião do plantio na cova. As sacolas rasgadas são coletadas e levadas ao viveiro para descarte de forma adequada. Os torrões das mudas produzidas em sacolas de plástico podem tolerar a falta de chuva por alguns dias, pois retém maior umidade, em relação aos torrões de substratos utilizados para as mudas embaladas em tubetes. Assim, requerem maior atenção para a necessidade de irrigação, em caso de veranicos. Uma opção é a adição de gel hidro retentor em cada cova e a forma de plantio de acordo com os implementos e os recursos disponíveis.

A primeira normatização acerca da produção de mudas de teca foi editada pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas (CESM, 1998a), da Delegacia Federal de Agricultura de Mato Grosso, DFA/MT, que estabeleceu os seguintes critérios para cada uma das mudas embaladas: haste única e ereta; dois a quatro pares de folhas verdes, sadias e túrgidas; o sistema radicular não deve extravasar a embalagem; medidas mínimas da embalagem: 8 cm de diâmetro e 15 cm de altura; idade de dois a quatro meses; estar isenta de pragas e moléstias (Regulamento da Defesa Sanitária Vegetal).

Muda toco (raiz nua)

As mudas toco podem ser produzidas com a deposição de 400 diásporos pré-tratados, de maior dimensão, até 600 diásporos, se forem menores, por m^2 de sementeira. Posteriormente, são efetuados os transplantes ou repicagens no canteiro de produção. Pode também ser feita a deposição direta no canteiro, equidistantes de 10 cm x

10 cm, 10 cm x 15 cm, até 15 cm x 15 cm, cujo espaçamento é o mesmo utilizado quando se faz a repicagem da sementeira. A muda se desenvolverá entre 4-11 meses, até que o coleto tenha a dimensão superior a 1 cm até, no máximo, 4 cm para o preparo do toco. A semeadura direta no canteiro apresentará falhas em torno de 40%, assim os transplantes deverão ser efetuados para melhor aproveitamento da área.

O maior período de produção do toco requer planejamento de semeadura em período no qual a umidade seja favorável à germinação e ao preparo da muda. Em algumas localidades, além do aquecimento com lona de plástico preta, pode ser necessária a irrigação e o preparo das mudas toco deverá coincidir com o início do período chuvoso (Chaves; Fonseca, 1991; Figueiredo, 2005; Cáceres Florestal, 2006). Segundo a Cáceres Florestal (2006), nas regiões do Brasil onde o inverno apresentar temperaturas abaixo de 20 °C, a semeadura deve ser efetuada de janeiro a fevereiro, enquanto, onde as temperaturas no inverno forem maiores, a semeadura pode ser mais tarde.

As sementeiras e os canteiros de produção devem ter de 1,0-1,2 m de largura e comprimento variável, em função do número de mudas a ser produzido e distribuição equidistante em relação à área total do viveiro, com plena insolação, pois a teca é intolerante à falta de luz. Os canteiros são elevados, de 15-20 cm, com substrato permeável e distribuídos perpendicularmente à inclinação do terreno, que deve ser suave. O solo da área não deve reter água, pois a raiz da teca é sensível ao encharcamento.

A semeadura dos diásporos é efetuada da mesma forma descrita para a muda embalada (Figura 4A). Deverá também ser considerado o mesmo critério de diásporos sem sementes e daqueles que apresentam de uma até quatro sementes, conforme descrito por Caldeira et al. (2000) (Figura 4B e C). Para o transplante da sementeira ao canteiro, utilizar os mesmos critérios apresentados por Caldeira et al. (2004b) (Figura 5).

Com o pré-tratamento, a semeadura na profundidade correta e, com ofertas de umidade e temperatura adequadas (Figura 6A), a emergência dos cotilédones se inicia a partir do oitavo dia após a semeadura e a maioria até o 30º dia, contudo, algumas plântulas emergem mais tardiamente ou, após o período seco, no início do período chuvoso, a partir de outubro, dependendo da região. Essas mudas não servirão para a produção do toco. No período seco, é comum que as mudas percam as folhas com refolhamento ao início da chuva. Com irrigação artificial ou o início do período chuvoso, as mudas reenfolham e atingirão o tamanho desejado (Figura 6B).





Fotos: Sidney Fernando Caldeira



Figura 6. Aspecto dos canteiros de produção de muda toco de teca: após a semeadura (A), com as mudas em desenvolvimento (B) e detalhe da muda antes da remoção para a poda da parte aérea e das raízes (C).

A partir de novembro, as mudas estarão aptas a serem arrancadas dos canteiros (Figura 6C), as menores de forma manual e as maiores com auxílio de enxadão. A parte aérea é podada com auxílio de tesoura de poda, com corte em bisel, deixando-se de 2-4 cm a partir da região do coleto. A raiz principal será parcialmente removida, deixando-se de 15-20 cm de comprimento. No caso de presença de raízes bifurcadas, a mais fina será removida. Em seguida, são cortadas todas as raízes finas presas lateralmente à raiz principal e estará pronta a muda toco.

As mudas toco poderão ser classificadas quanto ao seu porte em pequenas (P), médias (M) e grandes (G), em função do comprimento total da parte aérea somado ao comprimento da raiz, sendo este valor associado ao diâmetro do colo. Para tanto, pode ser utilizado um gabarito feito em madeira com espessura de 10-15 mm (Figura 7A). O seu uso facilita o agrupamento das mudas toco com comprimento mínimo de 12,5 cm, médio em torno de 18,5 cm e máximo com 24,5 cm (Figura 7B), que será associado, respectivamente, ao diâmetro do colo maior que 1-2 cm, de 2-3 cm e de 3-4 cm (Figura 7C).

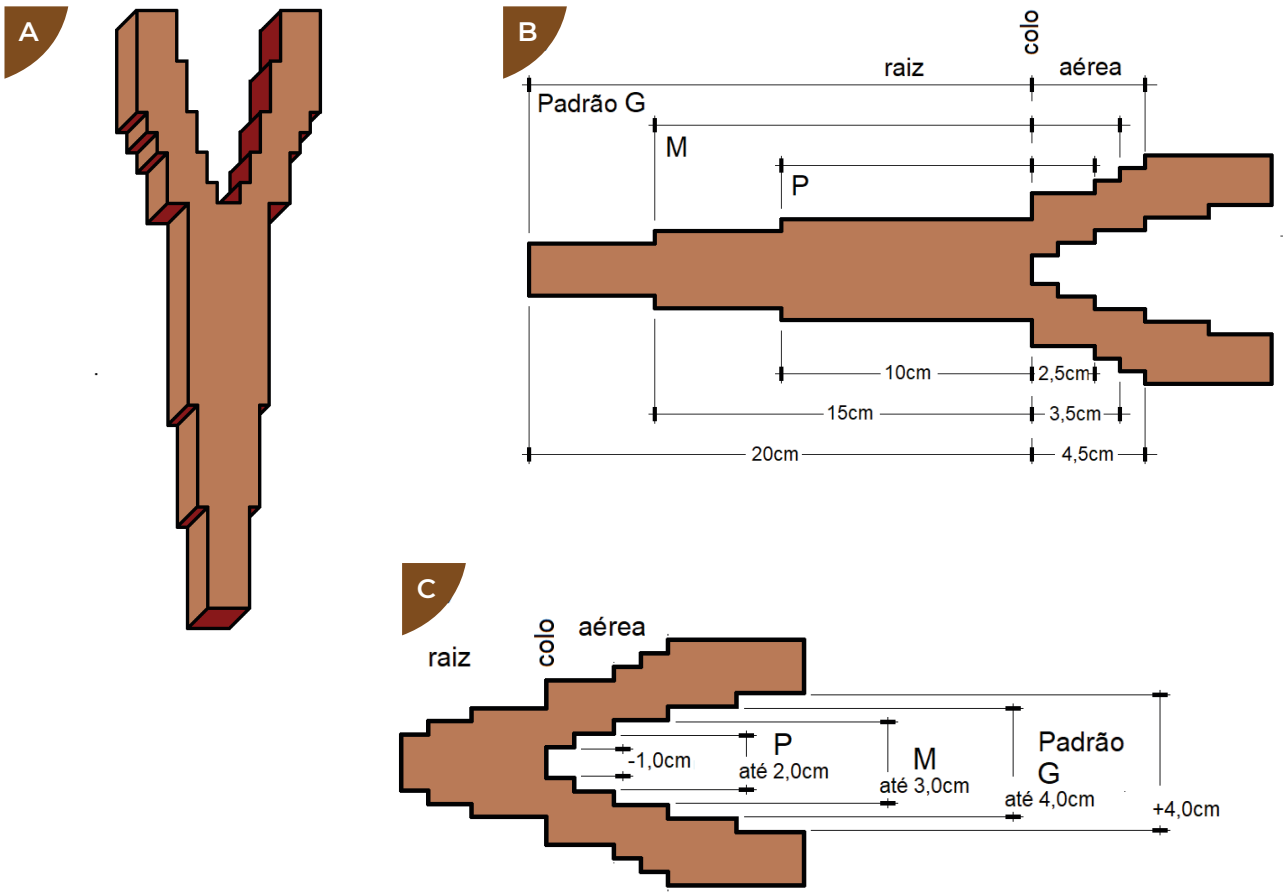


Figura 7. Gabarito para a padronização de mudas toco de teca (A) em pequenas (P), médias (M) e grandes (G), em função dos comprimentos de parte aérea e da raiz (B) associados ao diâmetro do colo (C).
Desenho: Sidney Fernando Caldeira

Este procedimento é importante para referência da punção utilizada na abertura da cova e, assim, evitam-se covas maiores ou menores as quais podem prejudicar as operações de plantio. Mudas com menos de 1 cm ou com mais de 4 cm de diâmetro de colo e com menos de 12,5 cm ou mais de 24,5 cm de comprimento são consideradas fora do padrão para mudas do tipo toco.

O prejuízo no plantio pela adoção de punção de dimensão superior à dimensão da muda toco está relacionado com a folga que essa apresentará em relação ao tamanho da cova. Assim, na ocorrência de precipitação pluviométrica intensa, é comum o escorrimento de água ao lado da muda e o seu afundamento no solo, com prejuízos à brotação. De outro lado, o uso de punção com dimensão inferior ao tamanho da muda toco resultará em maior área de atrito com o solo, com a deposição de muda e isto poderá ferir o sistema radicular e facilitar a penetração de patógenos ou fungos oportunistas do solo.

A primeira normatização acerca da produção de mudas toco de teca foi estabelecida pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas (CESM, 1998a), da Delegacia Federal de Agricultura de Mato Grosso (DFA/MT), com o seguinte padrão: caule cortado cerca de 2,5 cm acima do nível do solo; raiz principal podada de forma que sua parte rígida possua entre 10-20 cm. As radicelas, raízes finas, igualmente cortadas rente à inserção; colo medindo entre 1-4 cm de diâmetro; haste e raiz pivotante únicas e retilíneas; estar isenta de pragas e moléstias (Regulamento da Defesa Sanitária Vegetal); idade da muda ao ser podada entre 6-12 meses; as mudas devem ser levadas ao campo no prazo de uma semana após o arranque e a armazenagem deve ser realizada à sombra, em local fresco, ventilado e com pouca luz.

Os tocos produzidos deverão ser acondicionados em saco de ráfia (Figura 8) e armazenados por 3-5 dias, para que ocorra a constrição do tecido das partes cortadas, antes do plantio no campo. O armazenamento deverá ser em local ventilado, fresco e não exposto à ação direta da luz solar. O plantio de tocos recém-cortados pode facilitar a ação de insetos e fungos nos tecidos expostos. Se necessário, o armazenamento poderá se estender por até 15 dias, observando que, se o ambiente tiver excesso de umidade e luz, os tocos iniciarão a brotação e estes brotos poderão morrer após o plantio no campo. Ainda assim, em regiões de clima mais quente e com baixa umidade relativa do ar, poderá ser necessário adicionar cerca de 100-200 mL de água em cada saco, a cada dois ou três dias.



Figura 8. Aspecto geral (A) e detalhe (B) de mudas toco de teca acondicionadas em sacos de ráfia (C) e prontas para transporte ao campo.

A abertura da cova no solo preparado é efetuada com estaca de madeira, de dimensão semelhante ao tamanho da muda toco. O toco é depositado e efetuada ligeira pressão lateral no solo para não deixar o toco solto. O uso de estacas mais compridas que o comprimento dos tocos, com a precipitação pluviométrica mais intensa, poderá resultar em afundamento do toco na cova e prejudicar as brotações das gemas e os enraizamentos. Não é recomendável usar a própria muda toco como estaca, pois pode ferir a raiz e igualmente prejudicar o enraizamento, além de favorecer a entrada de microrganismos oportunistas.

Ribeiro et al. (2006) concluíram que mudas tipo toco plantadas no campo apresentaram maior taxa de sobrevivência quando submetidas às seguintes adubações de plantio na cova: 250 g de Fosmag, ou 200 g de calcário calcinado, ou 200 g de calcário calcinado mais 250 g de supersimples, ou 200 g de calcário calcinado mais 50 g de NPK 4-14-8.

Considerações finais

O Brasil é um país de dimensões continentais e os sítios mais adequados ao cultivo da teca estão concentrados na região Centro-Oeste e parte da região Norte. A estimativa é que 65-70% da área de teca plantada no Brasil esteja no estado de Mato Grosso, sendo o Pará o segundo Estado em área plantada (Indústria Brasileira de Árvores, 2020).

Ainda que o clima não seja a maior limitação em várias localidades dessas regiões, o desenvolvimento da teca não foi satisfatório. As características do solo representam a maior limitação ao seu cultivo, e os solos adequados ocorrem de forma descontínua nessas regiões, o que resulta em dispersão das áreas plantadas. Este fato impõe dificuldades na localização estratégica de viveiros em relação aos consumidores e resultam em aumento no custo da muda, decorrente do maior custo de transporte. Ainda é necessário considerar as variações locais, de disponibilidade e de custo de insumos, ferramentas, material de consumo, máquinas e implementos envolvidos no processo de produção. No estado de Mato Grosso, como exemplo, a distância da capital às cidades-polo oscila entre 200-800 km, além do fato de que a capital esteja a mais de 1.200 km das regiões que produzem e ofertam esses produtos.

O custo da muda seminal de teca é variável. Os valores podem oscilar de um terço até serem semelhantes ao custo da muda clonal. Os menores valores são registrados nos viveiros que apresentam produção contínua e demanda constante de mudas e os maiores

valores ocorrem em demandas isoladas e de menor volume. Para os dois tipos de mudas, o valor unitário decresce com o aumento da quantidade a ser adquirida. Ainda assim, o que se observou na última década foi a diminuição na produção de mudas seminais e o aumento da produção de mudas clonais. O fato pode ser associado às grandes empresas que plantam maiores áreas e que mantiveram seus programas de plantio, com opção pela muda clonal e de produção própria. Nos últimos cinco anos, foi registrada relativa estagnação da área plantada com teca no Brasil e alguma diminuição da área plantada em Mato Grosso, ainda que as maiores empresas tenham mantido seus programas de plantio. Estima-se que algumas áreas com teca foram colhidas, não regeneradas e substituídas por outro tipo de plantio.

Não existem estatísticas recentes publicadas ou disponíveis sobre a comercialização de sementes e de mudas seminais de teca, tanto para o mercado interno como para exportação, ainda que seja pequeno o número desses produtores e, nos últimos anos, parte deles tenha diminuído ou diversificado a produção para outras espécies florestais. Existem poucos relatos, mas não publicados, apenas da exportação de mudas clonais, além de remessas deste tipo de muda para outros Estados, principalmente ao Pará.

Além das referências internacionais tradicionais, mais de 85% das citações deste capítulo são nacionais. Esse critério visou não somente divulgar de forma direcionada e condensada estes trabalhos, mas valorizar e destacar a produção científica e os detalhes observados na produção de mudas seminais de teca no Brasil. Finalmente, o objetivo mais importante foi disponibilizar estas informações técnicas aos profissionais e aos interessados na produção deste tipo de muda, que se caracteriza como um processo mais simples e de menor custo, em relação ao de mudas clonais.

Referências

ALEXANDRE, F. S.; FERNANDES, R. A.; MERCEDES, A. P.; SILVA, D. C.; ALFENAS, R. F.; ANDRADES, G.; OLIVEIRA, A. G.; CELY, M. V. T. Avaliação da associação de micorrizas arbusculares e rizobactérias na produção de mudas clonais de teca (*Tectona grandis* L. f.). In: CONGRESSO PARANAENSE DE MICROBIOLOGIA, 2., SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL, 2016, Londrina. **Anais eletrônicos** [...]. Campinas: Galoá, 2016. Disponível em: https://proceedings.science/cpm/papers/avaliacao-da-associacao-de-micorrizas-arbusculares-e-rizobacterias-na-producao-de-mudas-clonais-de-teca--tectona-grandis#. Acesso em: 8 out. 2020.

BARROSO, A. B. **Silvicultura especial de árboles maderables tropicales**. Habana: Editorial Científico Técnico, 1987. 356 p.

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500002.

BRASIL. Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 26 jul. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5153.htm. Acesso em: 5 mar. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.586, de 18 de dezembro de 2020. Regulamenta a Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 21 dez. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10586.htm. Acesso em: 5 mar. 2021.

BRASIL. Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 6 ago. 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.711.htm. Acesso em: 5 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA, 2009. 395 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/regras-para-analise-de-sementes.pdf/view. Acesso em: 8 out. 2020.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres, MT: Cáceres, 2006. 32 p. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

CALDEIRA, S. F.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Potencial fisiológico de diásporos de *Tectona grandis* L. f. derrubados pelo vento. **Acta Amazônica**, v. 49, n. 1, p. 99-106, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100013.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; ALBUQUERQUE, M. D. F. Comparação entre tratamentos pré-germinativos para análise de unidades de dispersão de teca, *Tectona grandis* L. f. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Abrates, 2001. 1 CD.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Viabilidade de unidades de dispersão de *Tectona grandis* com cinco anos de armazenamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 56., 2004, Cuiabá, MT. **Anais** [...]. São Paulo, SP: SBPC, UFMT. 2004a. 1 CD. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/56ra/banco_senior/RESUMOS/resumo_721.html. Acesso em: 5 set. 2020.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; BÍLIO, R. S. Macerações como pré-tratamento germinativo em diásporos de *Tectona grandis* L. f. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 15., 2005, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Curitiba: Abrates, 2005. 1 CD.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F. Efeito da imersão prévia em água e períodos de aquecimento, na viabilidade de sementes de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Agricultura Tropical**, v. 5, n. 1, p. 45-55, 2001.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; MENDONÇA, E. A. F.; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L. f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.

CALDEIRA, S. F. Doenças abióticas e bióticas da teca no Brasil. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M.; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia florestal**: desafios e perspectivas. São Carlos, SP: Suprema, 2013. p. 219-244.

CALDEIRA, S. F.; MIRANDA, J. M.; RODRIGUES, L. T. B. Transplante e desenvolvimento de *Tectona grandis* em tubetes. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 56., 2004, Cuiabá. **Anais** [...]. São Paulo, SP: SBPC, UFMT. 2004b. 1 CD. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/56ra/banco_senior/RESUMOS/resumo_1431.html. Acesso em: 5 set. 2020.

CALDEIRA, S. F.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G. Doenças da teca. In: GASPAROTTO, L.; BENTES, J. L. S.; PEREIRA, J. (ed.). **Doenças de espécies florestais arbóreas nativas e exóticas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 171-194.

CALDEIRA, S. F.; VIEIRA, S. A. F. Emergência de plântulas de teca, *Tectona grandis* L. f., com tratamentos pré-germinativos, em diferentes substratos. **Revista Agricultura Tropical**, v. 5, n. 1, p. 81-90, 2001.

CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L. f.) – Verbenaceae**. 1991. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS. **Normas técnicas para produção de mudas fiscalizadas**. Cuiabá: DFA/MT, 1998a. 61 p.

COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS. **Normas técnicas para produção de sementes fiscalizadas de espécies florestais**. Cuiabá: DFA/MT, 1998b. 40 p.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis* L. f.) árbol de uso múltiple en América Central**. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1991. 60 p.

COIMBRA, E. C.; VAZQUEZ, G. H.; NOGUEIRA, T. O. Superação de dormência e o uso de fungicida em diásporos de teca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p.1 281-1286, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1281-1286.

CORRÊA, B. M. B. **Desempenho do banco de sementes e do povoamento de teca na regeneração natural por alto fuste**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CORREA, H. S.; BEZERRA, A. S.; MELO, A. H.; OLIVEIRA, A. N.; SILVA, K. R.; SILVA, L. M. Fauna edáfica e associação micorrízica da teca (*Tectona grandis*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais eletrônicos** [...]. Natal: SBCS, 2015. Disponível em: https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/181.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: Ed. da UFLA, 2008. 175 p.

DIAS, J. R. M.; CAPRONI, A. L.; WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. S.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. P. Quebra de dormência em diásporos de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Acta Amazônica**, v. 39, n. 3, p. 549-554. 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300009.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N. Ocorrência e hospedabilidade de nematoides em mudas de *Tectona grandis* L. f. (teca). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 7, p. 1-10, 2006. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/JJOLg0FGaVJbKFR_2013-4-25-17-0-29.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C.; BARBOSA, L. K. F. **Teca (*Tectona grandis* L. f.)**: principais perguntas do futuro empreendedor florestal. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. 89 p. (Embrapa Acre. Documentos, 97). Disponível em: http://iquiri.cpafac.embrapa.br/pdf/doc97.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

FIGUEIREDO, E. O. **Teca (*Tectona grandis* L. f.)**: produção de mudas tipo toco. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. 22 p. (Embrapa Acre. Documentos, 101). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/13196/1/doc101.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

FIGUEIREDO, E. O.; SÁ, C. P. **Estimativa de custos e coeficientes técnicos para instalação e manejo de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. 16 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 48). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164634/1/13197.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

FIGUEIREDO, E. O.; SÁ, C. P. **Silvicultura e manejo de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2015. 130 p. (Embrapa Acre. Documentos, 138). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142552/1/25987.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000100015.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (Propagação sexuada)**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. 116 p.

GHINI, R. A solar collector for soil disinfestation. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 99, n. 1, p. 45-50, 1993. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01974784.

GHINI, R.; BETTIOL, W. Coletor solar para desinfestação de substratos. **Summa Phytopathologica**, v. 17, n.3/4, p. 281-286, 1991.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **2020**: relatório anual = annual report. Brasília, DF, 2020. 122 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2019. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

KAOSA-ARD, A. **Teak, *Tectona grandis* Linn. f. nursery techniques with special reference to Thailand**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1986. 42 p. (Danida Forest Seed Centre. Seed leaflet, 4A).

KEIDING, H. **Teak. *Tectona grandis* Linn. f**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1985. 21 p. (Danida Forest Seed Centre. Seed leaflet, 4).

OLIVEIRA, R.; SOUZA, N. F.; PIETROSKI, M.; FERBONINK, G. F.; CAIONE, G. Mudas de *Tectona grandis* produzidas em diferentes níveis de saturação por bases do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 2, p. 31-38, 2018. DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2234.

PITT, J. **Relatório ao Governo do Brasil sobre a aplicação de métodos silviculturais a algumas florestas da Amazônia**. Belém, PA: SUDAM, 1969. 245 p.

POULSEN, K. M. **Seed testing**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1994. (Danida Forest Seed Centre. Lecture note, C8).

RIBEIRO, F. A.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORAIS, V. M.; GOMES, J. E.; YOSHITAMI JUNIOR, M. Efeitos da adubação de plantio sobre o estabelecimento de mudas e *Tectona grandis* L. f. (teca). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 7, p. 1-13, 2006. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/nn6naUBH3ZmH3kn_2013-4-25-17-58-40.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

ROCHA, R. B.; VIEIRA, A. H.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; GHINI, R.; SPINELLI, V. M. **Uso da solarização para a quebra de dormência de sementes de teca (*Tectona grandis*)**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2008. 16 p. (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 102). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-RO-2010/13272/1/ct102-teca.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. f. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509831572.

SALES, N. I. S.; LEÃO, E. U.; GIONGO, M.; SANTOS, G. R. Patogenicidade e transmissão de fungos associados às sementes de *Tectona grandis* L. f. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 970-978, 2018. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509833369.

SAMEK, V. **Elementos de silvicultura de los bosques latifolios**. La Habana: Instituto Cubano del Libro, 1974. 291 p.

SIQUEIRA, T. A. S. **Serapilheira e a regeneração por alto fuste após a colheita de povoamentos de teca**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT. Disponível em: https://www1.ufmt.br/ufmt/un/publicacao/ppgcfa?busca=Siqueira&filtro=autor&categoria=. Acesso em: 5 set. 2020.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; CUSATIS, A. C.; HIGA, A. R. Crescimento e nutrição de mudas de *Tectona grandis* produzidas em substratos orgânicos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 49-56, 2014a.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. f.). **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 401-409, 2013. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509810551.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F.; SILVA, A. G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014b. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760.201420021134.

TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2014c. DOI: https://doi.org/10.5902/2316980X15279.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; REBELO, A. M. Avaliação de métodos para a superação de dormência de diásporos de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Floresta**, v. 39, n. 2, p. 273-278, 2009.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; HONGYU, K.; SCARAMUZZA, J. F. Crescimento e nutrição de *Tectona grandis* após adubação com N, P e K. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 120, p. 679-689, 2018. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.16.

WHITE, K.J. **Teak**: Some aspects of research and development. Bangkok: FAO, 1991. 53 p. (FAO. Publication, 17).



8

Produção de mudas clonais de teca por miniestaquia

Teotônio Francisco de Assis
Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Introdução

Do ponto de vista dos métodos de propagação operacional de espécies florestais, a clonagem apresenta importantes vantagens em comparação aos métodos sexuais. A primeira vantagem se relaciona diretamente com a magnitude dos ganhos transferidos aos plantios. Por permitir a captura da variância genética total (Zobel; Talbert, 1984), a clonagem possibilita a obtenção de ganhos máximos, seja na produtividade volumétrica de madeira, na resistência a fatores bióticos e abióticos, assim como nas propriedades tecnológicas da madeira. Além disto, a clonagem em escala operacional tem sido referida como a forma mais eficiente de aproveitar comercialmente a heterose observada em vários indivíduos e tem seu maior alcance naquelas espécies nas quais árvores adultas podem ser rejuvenescidas e propagadas vegetativamente em larga escala (Assis, 2000).

A exploração, via clonal, da heterose funcional (Lamkey, 1999), expressa em nível individual, tem um maior potencial para gerar ganhos em todas as características de interesse. Se, por um lado, os programas de melhoramento genético são capazes de gerar ganhos genéticos em indivíduos superiores, por outro, a clonagem é a forma mais eficaz para incorporar a superioridade desses indivíduos nos processos de produção industrial.

O uso da clonagem de espécies florestais em larga escala tem sido de grande importância no aumento da produtividade de madeira das plantações. A adoção do conceito de florestas clonais, derivadas de indivíduos superiores, tem sido um dos fatores responsáveis pelo grande salto de produtividade florestal verificado em várias partes do mundo. O caso dos eucaliptos no Brasil é um exemplo, onde a clonagem de híbridos intra e interespecíficos se tornou a principal forma de melhoramento e propagação de árvores superiores, com reflexos positivos no aumento da produtividade florestal, na resistência a fatores bióticos, na tolerância a fatores abióticos e na melhoria das propriedades tecnológicas da madeira. Da mesma forma, na Índia, é projetado um aumento significativo na produtividade das plantações clonais de teca (*Tectona grandis* L. f.), em comparação com os plantios seminais (Surendran, 2014). De acordo com Goh e Monteuuis (2005), a opção clonal parece ser a melhor e, em muitos casos, a única forma de maximizar o retorno dos investimentos com relação ao estabelecimento de plantações de teca, bem como o uso da terra. Palanisamy et al. (2009) obtiveram resultados positivos com clones selecionados, mostrando melhor crescimento no campo em relação a lotes de sementes locais. Além disto, uma série de problemas associados aos métodos tradicionais de propagação via seminal em teca podem ser evitados com a propagação vegetativa das plantas.

É também possível reduzir a variação genética, resultando em plantações mais uniformes pela seleção e propagação de pequeno número de clones superiores (Surendran, 2014). Neste sentido, é importante que os empreendimentos sejam estabelecidos com plantios em formato de mosaico, sendo cada talhão composto por um clone diferente, como precaução quanto à incidência de insetos-pragas e doenças.

Os plantios clonais são, desta forma, a melhor opção para produzir florestas de teca em larga escala e podem propiciar a obtenção de todos os benefícios advindos da seleção e multiplicação de genótipos superiores. No Brasil, apesar dos recentes avanços nas técnicas de clonagem de teca e no aumento do seu plantio em larga escala, o uso de plantações clonais em escala operacional é ainda incipiente, mas existe um grande potencial a ser explorado, sobretudo, porque as técnicas de clonagem de teca se mostram adequadas ao seu uso nesse sentido.

Do exposto, este capítulo tem como objetivo apresentar os principais fatores que podem interferir no enraizamento, via propagação vegetativa de teca e a metodologia de produção de mudas clonais a partir de miniestaquia.

Principais fatores associados ao enraizamento de teca

Fatores genéticos

Existem amplas evidências de que a formação de raízes adventícias em estacas de espécies arbóreas é geneticamente controlada (Assis; Teixeira, 1998). A grande variação observada entre as espécies, variedades e clones, com respeito à capacidade natural para formar raízes em estacas, tem demonstrado a importância dos fatores genéticos no enraizamento. Assim como ocorre para outras espécies lenhosas, são verificadas diferenças entre clones de teca quanto à maior ou menor facilidade de propagação, às vezes requerendo a adaptação de métodos de propagação para genótipos recalcitrantes (Monteuuis; Goh, 1999). Esse mesmo tipo de variação foi verificado por Badilla et al. (2016a, 2016b) em estudos feitos com clones de teca.

A maior dificuldade apresentada por muitas espécies e indivíduos, em relação a outros, também se expressa na velocidade com que a capacidade de enraizamento se reduz devido a fatores fisiológicos relacionados com o processo de maturação fisiológica. Além da variação entre as espécies, a taxa de perda da capacidade de enraizamento

verificada com o aumento da idade também varia entre indivíduos da mesma espécie, conforme observado por Husen (2013), em teca.

Como essa característica é dependente do genótipo e fortemente herdável (Oliveira et al., 2015), o processo de seleção por capacidade de enraizamento, ao longo do processo de melhoramento genético da espécie, especialmente com o uso de clones elites, é uma oportunidade para otimizar os processos de propagação nos programas de silvicultura clonal de teca.

Fatores fisiológicos

Além dos efeitos dos genótipos, os fatores fisiológicos mais importantes a serem considerados para a obtenção de níveis adequados de enraizamento de espécies florestais são: a juvenilidade e o estresse. O envelhecimento ontogenético, ou seja, a maturidade fisiológica, que leva à perda da juvenilidade e dificulta a propagação clonal, é fenômeno que afeta as plantas lenhosas e é comum a quase todas as espécies florestais. Materiais juvenis geralmente enraízam adequadamente, mas perdem a capacidade para formar raízes em propágulos, na medida em que aumenta o número de divisões celulares dos meristemas apicais, que leva ao crescimento em altura. Segundo Franclet (1982), em muitas espécies e clones, a maturidade fisiológica pode tornar inviável o uso da clonagem, impossibilitando sua aplicação comercial, se a juvenilidade não for convenientemente manejada.

Por outra parte, as condições de estresse verificadas no manejo da produção de propágulos, assim como na sua manipulação, têm influência sobre as perdas ocorridas no processo de enraizamento, conforme serão detalhados ainda neste capítulo. Na otimização de produção de plantas, em alguns viveiros operacionais, tem sido verificado que os ajustes para reduzir os níveis de estresse a que as plantas e seus propágulos são submetidos podem promover ganhos significativos, dependendo do nível em que se encontram os viveiros e das medidas de controle praticadas no manejo das minicepas e das miniestacas. Esses ajustes são geralmente de baixo custo e fáceis de implementar, mas geram resultados técnicos importantes.

Juvenilidade e maturação fisiológica

Normalmente se considera o período juvenil como aquele compreendido entre a germinação e o momento em que a planta alcança a capacidade de florescer (Wareing, 1959). A aquisição da capacidade reprodutiva é, então, o limite final da fase juvenil e o início da fase adulta.

Sem dúvida, as alterações morfológicas e fisiológicas relacionadas com essa mudança de fase não ocorrem de repente, em um certo momento da vida da planta, mas de forma gradual desde o início da germinação, como tem sido observado na prática. Essas mudanças podem afetar certos fatores de modo muito mais precoce, tais como o enraizamento, por exemplo, onde a alta predisposição a enraizar pode durar um par de dias em algumas espécies, ou anos em outras.

Em geral, plantas muito juvenis de teca têm alta predisposição para enraizar (Husen; Pal, 2006; Husen, 2012), mas podem ter reduzidas suas capacidades de enraizamentos na medida em que ocorrem os seus crescimentos apicais e essas perdas podem ocorrer mesmo no período considerado juvenil. As idades das plantas doadoras de propágulos têm um forte efeito no enraizamento de teca, que cai rapidamente com o aumento da idade. Em trabalho com plantas nas idades de dois meses, 15 anos e 30 anos, Husen e Pal (2006) observaram que as taxas de enraizamento, de sobrevivência e de brotação em estacas decresceram de acordo com o avanço das idades das plantas doadoras de propágulos, enquanto a taxa de formação de calo na base das estacas aumentou.

Paton e Willing (1974), por exemplo, encontraram que o enraizamento de *E. grandis* cai a partir do décimo quarto par de folhas, mas em outras espécies se observa uma queda mais brusca, desde uma altura de 30 cm, mesmo em plantas juvenis. O aumento da idade das plantas doadoras de propágulos (plantas-mães) provoca declínio no enraizamento, também por reduzir o conteúdo total de açúcares solúveis e de amido na base das estacas (Husen, 2012).

O processo de maturação fisiológica é um fenômeno que pode afetar as espécies lenhosas, de acordo com seu desenvolvimento ontogenético e o declínio na habilidade em formar raízes adventícias em estacas é um dos efeitos mais dramáticos da maturação fisiológica (Díaz-Sala, 2014). O envelhecimento das plantas doadoras de propágulos reduz a taxa de enraizamento e de brotação das estacas e aumenta a taxa de formação de calos na base das estacas (Husen, 2011; 2012).

Do ponto de vista da clonagem, fica claro, assim, que uma das consequências mais importantes do envelhecimento ontogenético é a diminuição e, podendo inclusive provocar a perda da capacidade de enraizamento observada em plantas adultas. Este fato é relevante na propagação de espécies florestais, dado que as árvores somente são avaliadas adequadamente quando são adultas e já perderam a capacidade natural de enraizar (Cresswell; De Fossard, 1974; Pijut et al., 2011). Isto tem alta relevância nos processos de clonagem da teca, por ter ciclos de seleção mais longos, pois cria uma dificuldade de ordem prática para o

desenvolvimento de programas de clonagem comercial, uma vez que os genótipos só podem ser convenientemente selecionados quando já perderam sua competência ao enraizamento.

A perda gradual da capacidade de enraizamento, que ocorre com o envelhecimento ontogenético, promove a expressão de outro fator fisiológico importante, a topófise. Como o embrião é o órgão mais juvenil de uma planta, quanto mais distante do embrião, em termos de divisões celulares, menos juvenis serão os tecidos. A topófise faz com que propágulos procedentes de diferentes pontos na planta tenham distintas características fisiológicas, resultando em diferentes capacidades de enraizamento, de acordo com a posição da estaca no ramo. A capacidade de enraizamento é menor em pontos mais altos dos ramos, mas segue sendo elevada nos tecidos do coleto da planta e em locais adjacentes. Em tecidos menos juvenis, às vezes, se pode obter enraizamento, mas, devido à topófise, o sistema radicular pode ser defeituoso, dando lugar à heterogeneidade de crescimento e impedindo a expressão do potencial genético dos clones. Em razão disto, muitas vezes se consegue recuperar o potencial rizogênico, mas não o potencial genético, sobretudo, devido às deficiências na qualidade do sistema radicular.

A perda do potencial genético, devido aos processos de propagação (resgate, clonagem, qualidade de mudas e falhas de plantio), tem sido um dos principais responsáveis pelo baixo aproveitamento de indivíduos selecionados em relação aos clones recomendados no gênero *Eucalyptus* (Assis et al., 2004). São várias as etapas onde a propagação é realizada: no resgate e clonagem originais para estabelecer os testes clonais, nos testes clonais para estabelecer os testes clonais ampliados e nos testes clonais ampliados para estabelecer os minijardins clonais operacionais. Isto aumenta a chance de erros na execução dessas etapas, podendo interferir negativamente no desempenho dos clones. Adicionalmente, há outra situação que pode interferir na expressão do potencial genético, qual seja, a alteração da natureza do sistema radicular com a clonagem, onde o sistema radicular pivotante da planta matriz selecionada é substituído por um sistema radicular adventício, mais superficial.

Assim, a qualidade do sistema radicular formado é tão importante quanto o enraizamento. Este fenômeno, às vezes referido como “efeito C”, pode converter árvores selecionadas superiores em clones de performance medíocre, bem como promover a indesejável variação intraclonal. Com isso em mente, a possibilidade de obter clones uniformes a partir de qualquer genótipo de teca e com ausência de "efeitos C" depreciativos deve ser objetivamente considerada uma oportunidade valiosa para investigar em que medida esses genótipos de teca podem ser adaptados a várias condições ambientais (Monteuuis; Goh, 1999).

Portanto, não somente o enraizamento, mas também a qualidade do sistema radicular devem ser conhecidos nas espécies florestais objetos de trabalho. Deve ser avaliada como a topófise afeta o enraizamento e a qualidade do sistema radicular, já que algumas espécies e clones são mais sensíveis a este fenômeno do que outros.

Desta forma, fica claro que a juvenilidade é um dos pontos chave para se obter níveis adequados de enraizamento em teca. Assim, é necessário que se disponha de métodos de rejuvenescimento capazes de restaurar a capacidade rizogênica das árvores (Assis; Mafia, 2007), bem como o seu potencial genético.

Rejuvenescimento

Da mesma maneira que as espécies lenhosas amadurecem e perdem sua capacidade para formar raízes conforme crescem, a maioria delas pode ser rejuvenescida. Considerando que as árvores somente são avaliadas adequadamente quando são adultas e já perderam a capacidade de enraizar (Cresswell; De Fossard, 1974), o rejuvenescimento é essencial na clonagem de qualquer espécie lenhosa.

O conhecimento do fenômeno de retenção da juvenilidade nos tecidos da base do caule das árvores adultas permitiu o estabelecimento, para a clonagem de teca, de um modelo básico já amplamente aplicado na clonagem de *Eucalyptus* e outras espécies florestais. Este modelo consiste na obtenção de brotos a partir da base das árvores, principalmente, resultantes de sua decepa ou pelo uso de procedimentos como: anelamento, aplicação de substâncias reguladoras de crescimento, uso de fogo localizado, dentre outros. Os brotos que surgem nesta região tendem a apresentar características morfológicas e fisiológicas juvenis, incluindo o enraizamento. Assim, em geral, a indução de brotos na base da árvore é capaz de restaurar a boa capacidade de enraizamento nas plantas adultas (Hartney, 1980) e, sem dúvida, essa é a forma mais simples de rejuvenescimento, mas só se aplica às espécies que brotam após o corte, como é o caso da teca. Palanisamy e Subramanian (2001) observaram que o enraizamento de estacas de árvores adultas de teca, rejuvenescidas, foi semelhante ao obtido com estacas juvenis de mudas, mostrando a efetividade do rejuvenescimento. Como ocorre na maioria das espécies lenhosas, esses autores enfatizam que a juvenilidade é o principal fator que interfere no enraizamento de teca.

O efeito benéfico da propagação seriada, ou em cascata, sobretudo quando se utilizam sistemas de produção in vitro, no rejuvenescimento de tecidos adultos, é um fenômeno

reconhecido em plantas lenhosas. Os sub-cultivos sucessivos de tecidos adultos são capazes de restabelecer suas competências aos enraizamentos e, em tecidos rejuvenescidos por outros métodos, são capazes de aumentar suas predisposições aos enraizamentos, sobretudo em sistemas de micropropagação (Assis; Mafia, 2007).

Desta forma, outros métodos de rejuvenescimento podem ser utilizados, como a micropropagação (Wendling; Xavier, 2001), enxertia em cascata ou seriada (Wendling; Xavier, 2001; Husen, 2012), bem como obtenção de brotos epicórmicos nos galhos da copa da árvore, acondicionados dentro de casas de vegetação (Surendran, 2014). Entretanto, nesses métodos, a origem dos propágulos são órgãos adultos e há sempre a preocupação de que o rejuvenescimento, que é capaz de recuperar o potencial rizogênico, possa não ser suficiente para restabelecer o potencial genético das árvores e, desta forma, afetar negativamente seu crescimento e homogeneidade. Nesse sentido, é sempre preferível a obtenção de propágulos juvenis diretamente de pontos mais juvenis na planta.

Estresse

Se a manipulação de fatores genéticos e da juvenilidade podem atuar aumentando a predisposição ao enraizamento, o estresse atua reduzindo a sobrevivência e o próprio enraizamento em si. Os procedimentos de manejo, tanto das minicepas quanto das miniestacas, podem afetar as condições de estresse a que as plantas e os propágulos são submetidos. As situações de estresse causam reações típicas das plantas, no sentido de sobreviver à ação desses fatores estressantes. Assim, as plantas e os propágulos submetidos às condições estressantes geram mecanismos de sobrevivência, cuja resposta mais comum é a produção de etileno e ácido abscísico. O ácido abscísico age como inibidor do enraizamento (Costa et al., 2013). Isto causa a formação excessiva de calos e reduz a sobrevivência das miniestacas e, consequentemente, o aproveitamento final de mudas. Portanto, a redução ou eliminação do estresse é um fator importante para promover a melhoria dos resultados operacionais de enraizamento.

Em condições de estresse, as plantas tendem a perder suas folhas para se manterem vivas. Isto se deve às produções desses dois hormônios citados anteriormente, que provocam o amarelecimento e o enrijecimento das folhas, culminando com sua queda prematura. Além do enraizamento de miniestacas sem folhas ser mais difícil, as miniestacas que sofrem com estresse hídrico demoram mais para enraizar e formam menor quantidade de raízes

(Costa et al., 2013). Essa menor quantidade de raízes pode afetar a expressão do seu potencial genético e, consequentemente, afeta também o crescimento das plantas.

As principais fontes de estresse no manejo de cepas e minicepas, geralmente são de caráter nutricional (mais ligado às plantas doadoras de propágulos), térmico e hídrico. No manejo das miniestacas, o estresse hídrico é o mais importante, embora altas temperaturas possam ser uma condicionante de estresse por perda de turgescência. Quando as miniestacas são coletadas, seu suprimento de água está sendo cortado, mas as folhas continuam perdendo água por transpiração. A manutenção da turgescência dos propágulos, ao longo de todo o período de propagação, é um dos fatores críticos para o sucesso do enraizamento (Mesén, 1998). Portanto, o manejo adequado dos brotos, especialmente, quanto à prevenção de perda de água interna, desde sua coleta até a instalação no interior das casas de vegetação, é uma condição que deve ser permanentemente perseguida.

Fatores ambientais

Sazonalidade no enraizamento

Diferenças marcantes entre as estações do ano, verificadas em vários ambientes, sobretudo com respeito à temperatura e ao fotoperíodo, são fatores que promovem alterações negativas na predisposição das miniestacas a enraizarem. Efeitos sazonais marcantes são de ocorrência comum e observados mesmo em ambientes tropicais (Hartney, 1980). Na miniestaquia de teca, esses efeitos têm sido notados mesmo em condições ambientais, tal como àquelas do estado de Mato Grosso. Os períodos de outono e inverno, onde as plantas tendem a entrar em estágio de repouso vegetativo, constituem os principais desafios na obtenção de níveis adequados de enraizamento durante o ano todo. Alta temperatura, desde que o ambiente seja protegido para assegurar alta umidade relativa, é um fator importante no aumento da produtividade de propágulos e no enraizamento das miniestacas de teca, conforme será visto em item específico deste capítulo.

O manejo da temperatura e da luminosidade, especialmente para alterar o fotoperíodo e a atividade metabólica, constituem medidas que podem ser utilizadas para reduzir ou eliminar os efeitos estacionais sobre o enraizamento. Entretanto, como o período necessário à sua aplicação é muito curto durante o ano, os investimentos para esse tipo de manejo provavelmente não se justificam, ao menos em ambientes tropicais.

Temperatura, luz e umidade

Temperatura, luz e umidade são fatores que podem ser controlados nos minijardins clonais, para melhorar a predisposição das miniestacas ao enraizamento. A luz pode ser manejada por meio da alteração no fotoperíodo e na intensidade luminosa. A maior intensidade de luz pode aumentar a produtividade de miniestacas, enquanto uma menor intensidade de luz pode aumentar o enraizamento pela redução de substâncias fenólicas (monofenóis) que atuam como inibidores de enraizamento (Vieitez; Ballester, 1988). Estas substâncias fenólicas também podem atuar como promotores de enraizamento, dependendo de sua natureza (polifenóis) e das suas concentrações nos tecidos das plantas. O fotoperíodo, especialmente quando combinado com a temperatura, pode aumentar a predisposição ao enraizamento. Em algumas espécies de *Eucalyptus*, as plantas doadoras de propágulos respondem positivamente à redução ou à eliminação temporária da luz. No caso de *E. urophylla* x *E. grandis*, seu cultivo em ambiente sombreado aumentou o enraizamento em torno de 20%, em comparação com plantas dos mesmos clones desenvolvidas à plena luz (Assis, 1990). As plantas doadoras de propágulos, desenvolvidas sob sombra, podem ter suas porcentagens de enraizamento afetadas, como também o número de raízes geradas, valores que, dependendo da espécie, podem aumentar ou diminuir (Hansen, 1987). Esta variação parece estar relacionada à produção de hidratos de carbono (Nanda et al., 1971) e ao transporte e acumulação de auxinas (Hansen, 1987). No caso particular da teca, o estiolamento das plantas doadoras de propágulos acelera o potencial de enraizamento (Husen, 2011; 2012) e tem se mostrado fundamental na sua clonagem.

A temperatura pode influir no enraizamento ao interferir na absorção e no metabolismo de nutrientes e seu controle pode ser ajustado para obter a máxima produção de propágulos. Assis (1997) observaram que a redução dos períodos aptos para desenvolver o enraizamento de estacas, no outono e inverno, pode ser revertida mediante o aumento de fotoperíodo (14h 1000^{-1} lux) e o incremento da temperatura no ambiente de crescimento das plantas doadoras de propágulos (> 20 °C). Estes dois fatores não foram avaliados em separado e, por isso, seus efeitos individuais não foram determinados. Sem dúvida, considerando que a concentração de nutrientes nos tecidos é de suma importância no processo de enraizamento e que sua absorção depende da atividade metabólica, pode-se supor que ambos os fatores contribuem para a restauração dos níveis normais de enraizamento nesses períodos. Em geral, nas zonas com climas frios, o período de enraizamento se limita aos meses mais quentes do ano. Assim, como se discutiu anteriormente, se a luz e a temperatura podem ser controladas por meio das estruturas de propagação, pode-se otimizar o processo mediante a ampliação do período de enraizamento ao longo de todo o ano.

Produção de mudas clonais por miniestaquia

A técnica de propagação que deu origem ao conceito de silvicultura clonal em espécies florestais no Brasil foi desenvolvida a partir do enraizamento de estacas (macroestaquia) de *Eucalyptus* (Campinhos; Ikemori, 1980). Esse sistema ainda é o mais utilizado na clonagem de teca em todo o mundo. Entretanto, ainda que mais rústico, o uso de macroestacas está perdendo espaço para novas tecnologias de clonagem, sobretudo, a miniestaquia. A miniestaquia foi criada e desenvolvida no Brasil nos anos 90 (Assis et al., 1992; Xavier; Comério, 1996) e substituiu por completo o uso da macroestaquia na clonagem de eucalipto. Com utilização de modelo semelhante ao da miniestaquia do eucalipto, essa técnica tem sido a mais recomendada para a clonagem de teca (Santos et al., 2014; Packialakshmi; Sudhagar, 2019).

O uso da miniestaquia apresenta importantes vantagens em relação à macroestaquia. Estas vantagens são de carácter técnico, como proporcionar maior enraizamento e melhor qualidade do sistema radicular. Mas, também, podem ser econômicas, porque este sistema, quando bem estabelecido, tem maior produtividade de miniestacas, com maior taxa e rapidez de enraizamento (Assis, 1997). Além dos benefícios operacionais, técnicos e econômicos, há ainda ganhos ambientais e ergonômicos. Operacionalmente, a miniestaquia requer menor quantidade de mão de obra, pela substituição do manejo extensivo requerido na condução de jardins clonais de campo, que foram substituídos por um manejo intensivo em minijardins clonais indoor, apoiados por hidroponia. Por outra parte, a coleta e o transporte de brotos, normalmente realizados desde o campo na estaquia, foram substituídos pela administração centralizada no próprio viveiro (Assis et al., 2004). Outro ponto importante da miniestaquia é que a aplicação de hormônios de enraizamento tem pouco ou nenhum efeito na maioria dos clones. Apesar de Packialakshmi e Sudhagar (2019) terem encontrado efeito positivo na aplicação de ácido indol butírico (AIB) e Di Carvalho (2016) ter encontrado benefícios de qualidade com a aplicação de 2.000 mg L^{-1} de AIB, no enraizamento de miniestacas de teca, tem sido observado na prática e também por outros autores que a utilização de hormônios é completamente desnecessária na miniestaquia dessa espécie (Gatti, 2002; Assis et al., 2004; Badilla, 2014; Santos et al., 2014).

Nas miniestacas, a predisposição ao enraizamento é significativamente superior à predisposição das macroestacas e pode contribuir para o aumento de 40% na taxa média de enraizamento de clones normalmente recalcitrantes, devido principalmente ao maior grau de juvenilidade dos brotos. Além disto, as miniestacas enraízam mais rapidamente, otimizando a utilização das estruturas de propagação (Assis et al., 2004).

Além do maior nível de êxito, associado ao uso desse tipo de propágulo e sua relação com uma maior juvenilidade, o maior potencial de enraizamento também está relacionado a um manejo mais adequado das plantas doadoras de propágulos (minicepas) nos minijardins clonais. Os melhores resultados obtidos, mediante o uso dessa técnica, também podem estar associados ao menor grau de lignificação dos propágulos (Assis et al., 2004).

Ao serem comparadas com as macroestacas, as miniestacas podem ser consideradas mais herbáceas, evitando as dificuldades associadas ao excessivo aumento da concentração de lignina nos tecidos, verificadas em estacas lenhosas. A clonagem de teca tem sido, até o momento, entre todas as espécies onde se utilizou a miniestaquia, uma das que mais se adaptaram a esse sistema, podendo superar, em muitos casos, os resultados obtidos com *Eucalyptus*. Operacionalmente se obtém enraizamento da ordem de 95%, desde que atendidas as principais exigências para se atingir altos níveis de enraizamento, como juvenilidade, alta umidade, alta temperatura e luminosidade reduzida no cultivo das plantas doadoras de propágulos.

Resgate de matrizes

Uma vez que, no resgate de matrizes, se busca obter propágulos rejuvenescidos, para resgatar uma árvore matriz selecionada e transformá-la em um clone com maior potencial de enraizamento, é fundamental levar em conta os aspectos da juvenilidade, discutidos anteriormente (Figura 1). Desta forma, no processo de resgate, deve-se buscar brotos juvenis na porção basal de uma árvore adulta, que pode ser considerado um processo de rejuvenescimento. Há, basicamente, duas formas de obtenção dos brotos juvenis na base do tronco de uma árvore madura: o abate e o anelamento, ambos na porção basal do tronco. Ressalta-se que, nas espécies lenhosas, há um gradiente positivo de juvenilidade do topo para a base da árvore (Eldridge et al., 1994). Assim, quanto mais próximas ao solo, mais juvenis serão as brotações e, em geral, terão maior capacidade de enraizamento. Além disto, deve-se levar em conta que, mesmo sendo brotações basais, elas crescem e podem perder a juvenilidade obtida. Assim, é necessário colher brotações e aproveitar somente as estacas do primeiro e segundo pares de folhas, ou seja, da porção mais basal dos ramos.



Foto: Fabrício Antonio Biernaski

Figura 1. Árvore matriz selecionada de teca.

Abate da árvore

O abate da árvore matriz a ser clonada é o método mais simples e o mais eficiente na indução de brotações juvenis na base das árvores. É também o método mais utilizado no resgate de matrizes selecionadas, tal como aquele realizado em *Eucalyptus* (Santos et al., 2014). O abate fornece brotações juvenis, favorecendo a formação de raízes adventícias nas estacas (Baccarin et al., 2015). Em épocas fora do período de repouso vegetativo, sobretudo na presença de luz e sem deficiência hídrica, a brotação é intensa e ocorre rapidamente. Os resultados obtidos por Badilla et al. (2016a, 2016b) indicam a decepa do caule como adequada ao resgate de árvores matrizes de teca (Figura 2).



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 2. Aspecto da brotação de uma árvore matriz de teca decepada.

Anelamento parcial do tronco

Assim como ocorre no abate, o anelamento parcial do tronco induz a brotação de gemas basais, localizadas abaixo do ponto de anelamento (Figura 3). Para não haver riscos de perda dos genótipos selecionados, o anelamento deve ser parcial, onde se deixa um segmento de casca, correspondendo entre 10-20% do perímetro da árvore. Para se ter boa brotação com esse método, é necessário ter satisfeitas algumas condições tais como: presença de crescimento vegetativo, de água no solo, de alta temperatura e de incidência de luz. Portanto, é preferível realizar os resgates (anelamento ou abate da árvore) no período das chuvas.

Essa técnica tem grande relevância no uso de florestas clonais de teca, pois pode acelerar o processo de produção de clones com qualidade da madeira conhecida. A árvore anelada, após emitir brotação que será usada na clonagem, se recupera e continua a crescer normalmente. Isto permite que clones possam ser selecionados em idades mais precoces e a madeira das árvores, que originaram os clones e que continuam a crescer no campo, pode

ser avaliada em idades mais avançadas, em relação aos clones delas derivados. Isto permite uma melhor avaliação dos clones em relação à qualidade da sua madeira e, ao mesmo tempo, acelerando o processo de desenvolvimento de clones operacionais.

O anelamento é importante, também, quando há riscos de perda dos genótipos por problemas na brotação, pois, com o procedimento descrito anteriormente, não há casos relatados de perda de sobrevivência das matrizes aneladas. Conforme relatado por Badilla et al. (2016a), assim como o abate, o anelamento parcial do tronco pode ser utilizado com sucesso no resgate de árvores matrizes selecionadas de teca.

Figura 3. Produção de brotos em árvore matriz de teca em resgate por anelamento parcial do tronco.



Foto: Fabrício Antonio Biernaski

No caso de espécies com dificuldades de brotação, seja pelo abate ou por anelamento parcial do tronco, há outros métodos que podem ser utilizados, tais como: a cultura de tecidos, a enxertia seriada (Wendling; Xavier, 2001) e o uso de brotos epicórmicos emitidos em ramos acondicionados em casas de vegetação (Surendran, 2014) (Figura 4).



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 4. Brotos epicórmicos para resgate a partir de ramos brotados de árvore matriz de teca, em casa de vegetação.

Clonagem das matrizes resgatadas

Normalmente, o resgate de matrizes no campo é conduzido em duas etapas. Na primeira, as macroestacas (aproximadamente de 15-20 cm), colhidas das brotações nas árvores matrizes previamente selecionadas, são levadas à casa de vegetação para produzir brotações mais tenras e com folhas menores, mais adequadas ao início do processo de clonagem (Surendran, 2014). Essas brotações são plantadas em leito de areia ou de substrato de enraizamento, localizado no interior da casa de vegetação sob nebulização intermitente. Nessa etapa, a aplicação de AIB é benéfica, bem como a realização de incisões longitudinais na base das estacas, as quais favorecem o enraizamento ou a brotação das gemas axilares (Husen; Pal, 2003; Husen, 2012). Essas incisões são cortes de aproximadamente 1 cm de extensão feitos na casca, em dois pontos diametralmente opostos na base das estacas, para romper anéis esclerenquimáticos e permitir a emissão das raízes diretamente do caule. Entretanto, muitas vezes, essas brotações são produzidas mesmo sem que as estacas enraízem, como pode ser observado na Figura 5.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 5. Estaca de teca com emissão de brotação mesmo sem enraizar, porém, com as brotações adequadas para iniciar o processo de clonagem.

O mais importante nessa fase é que as macroestacas emitam brotações e, a partir desses novos rebrotes, é iniciado o processo de clonagem, sem a necessidade obrigatória de que ocorra o enraizamento nessa fase. Normalmente, o enraizamento dessas novas brotações é mais fácil de ser obtido em relação aquele de estacas lenhosas. Essa etapa pode ser dispensada no caso de se coletar as brotações em idade precoce, quando as folhas ainda não estão muito expandidas e utilizá-las como se fossem miniestacas (Figura 6).

Estabelecimento e manejo de minijardins clonais de teca

Na medida em que as árvores matrizes são resgatadas e clonadas, seus clones derivados são estabelecidos em minijardins clonais para multiplicação e o estabelecimento de testes clonais. Após avaliação dos testes clonais em idade apropriada, são identificados os clones de melhor desempenho no campo e com os clones/cultivares recomendados e registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), esses são estabelecidos em minijardins clonais para a sua multiplicação operacional (Figura 7).



Foto: Rogério Aguiar

Figura 6. Estacas de teca coletadas de brotações menores, como miniestacas.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 7. Aspecto de um minijardim clonal de teca no município de Colíder, estado de Mato Grosso.

Os minijardins clonais mais utilizados são aqueles estabelecidos em canaletões de areia, apoiados em hidroponia, com fertirrigação por gotejamento, semelhantemente aqueles preconizados para espécies de *Eucalyptus*. Esse foi o sistema considerado também como mais adequado à produção e à qualidade de miniestacas em teca (Di Carvalho, 2019). O espaçamento de plantio nos minijardins clonais de teca, assim como aquele utilizado em *Eucalyptus* (Souza et al., 2014), que produz melhores resultados em termos de enraizamento e sobrevivência, é 10 cm x 10 cm (Badilla, 2014), embora a produção de miniestacas por metro quadrado seja menor em relação aos espaçamentos mais apertados. O espaçamento poderá vir a ser até um pouco maior, devido ao tamanho das lâminas foliares da teca.

Assim, a utilização de protocolos de miniestaquia desenvolvidos no enraizamento de *Eucalyptus*, para clones de teca, pode ser adotado com vantagens sobre a macroestaquia tradicional. Além disto, estes resultados indicam que as mudanças nos ambientes de cultivo das plantas doadoras de propágulos (minicepas) e das instalações para enraizamento, ambos com temperatura e umidade mais altas e menor intensidade luminosa, são extremamente importantes na obtenção de melhores resultados referentes à produção operacional de mudas clonais de teca.

Conforme mencionado anteriormente, o uso de cobertura plástica para o sombreamento dos canteiros é essencial para a produção de miniestacas com alta predisposição ao enraizamento. O estiolamento das plantas doadoras acelera o potencial de enraizamento, pelo rejuvenescimento dos brotos e aumenta também seu comprimento e a quantidade de raízes e reduz a formação de calos na base das miniestacas (Husen, 2011, 2012).

O próprio manejo das plantas doadoras de propágulos nos minijardins clonais, onde a poda é sempre mais baixa, promove maior juvenilidade e maior homogeneidade fisiológica dos propágulos. Essa homogeneidade proporciona maior uniformidade dos clones no campo, o que pode afetar, de maneira positiva, a produtividade de alguns deles (Assis et al., 2004).

A obtenção de um adequado status nutricional das plantas doadoras de propágulos é muito mais viável em sistemas hidropônicos apoiados em algum tipo de substrato, como a areia, por exemplo. Nos minijardins clonais indoor, ou seja, dentro de casas de vegetação, evita-se a influência de chuvas, que normalmente provocam a lixiviação de nutrientes nos jardins clonais de solo a céu aberto. Isto pode afetar o equilíbrio nutricional adequado à obtenção de altos níveis de enraizamento. Além dos aspectos técnicos, a melhor condição ergonômica para os trabalhadores, durante a colheita de miniestacas e no manejo das minicepas, pode constituir um diferencial de qualidade, sendo importante nos processos de certificação do viveiro.

A produção de propágulos ao relento, nos jardins clonais de campo (Figura 8), utilizada na maioria dos viveiros operacionais de teca por macroestaquia, torna o sistema de produção de brotos mais vulnerável em diversos momentos durante uma temporada de produção operacional. Isto faz com que os resultados observados neste tipo de instalação sejam inferiores aos obtidos nos sistemas com maior controle ambiental.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 8. Jardim clonal de campo de teca a céu aberto (outdoor).

Os jardins clonais de campo são mais propensos a produzir propágulos com enfermidades. É sabido que muitos fungos patogênicos, que afetam a sobrevivência das estacas (exceto *Botrythis*), são fungos de solo, como *Cylindrocladium* e *Rhizoctonia*. Salpiques de partículas de solo, produzidas pela água de chuva e, ou sistemas de irrigação, contaminam as estacas com esses fungos, que ficam aderidos sobre as folhas das plantas. Nos minijardins clonais suspensos, em canaletões de areia, a condição fitossanitária dos propágulos é consideravelmente melhorada. Existem, portanto, importantes vantagens fitossanitárias na adoção de um sistema de produção de propágulos via miniestaquia, por ser mais limpo e de mais fácil controle.

Uso de estufins

A umidade relativa no ambiente das minicepas deve estar tanto mais próxima de 100% quanto possível e as temperaturas podem variar com a hora do dia, indo de pouco mais de 20 °C, de manhã bem cedo, até próximas a 40 °C no meio da tarde. Ressalta-se que, quando a umidade é alta, temperaturas elevadas não causam danos às folhas. Dentro deste contexto, o uso de estufins (Batista et al., 2015), cobertos com sombrite, é bastante recomendado na produção de propágulos de teca com alta predisposição ao enraizamento. O uso de estufins aumenta a produtividade de miniestacas, aumenta o enraizamento e reduz a formação de calos (Assis, 2011). Os estufins devem ser bem vedados para evitar a fuga de umidade e de CO_2 e seu correto manejo deve ter em conta que à noite estejam sempre fechados, pelo menos, até as primeiras horas da manhã (Figura 9).



Figura 9. Estufins, nas primeiras horas do dia, fechados e bem vedados.

Na Figura 10, pode-se verificar, por intermédio de sensores de medição da concentração de CO_2, o gráfico correspondente que mostra seu acúmulo no interior dos estufins, resultante da respiração noturna das plantas, chegando a 800 ppm. Verifica-se, também, que o CO_2 é reincorporado às plantas a partir da chegada da luz solar nas primeiras horas da manhã. Esta é uma das possíveis explicações para o aumento da produção de miniestacas e do enraizamento com a utilização de estufins em minijardins de *Eucalyptus* e de teca.

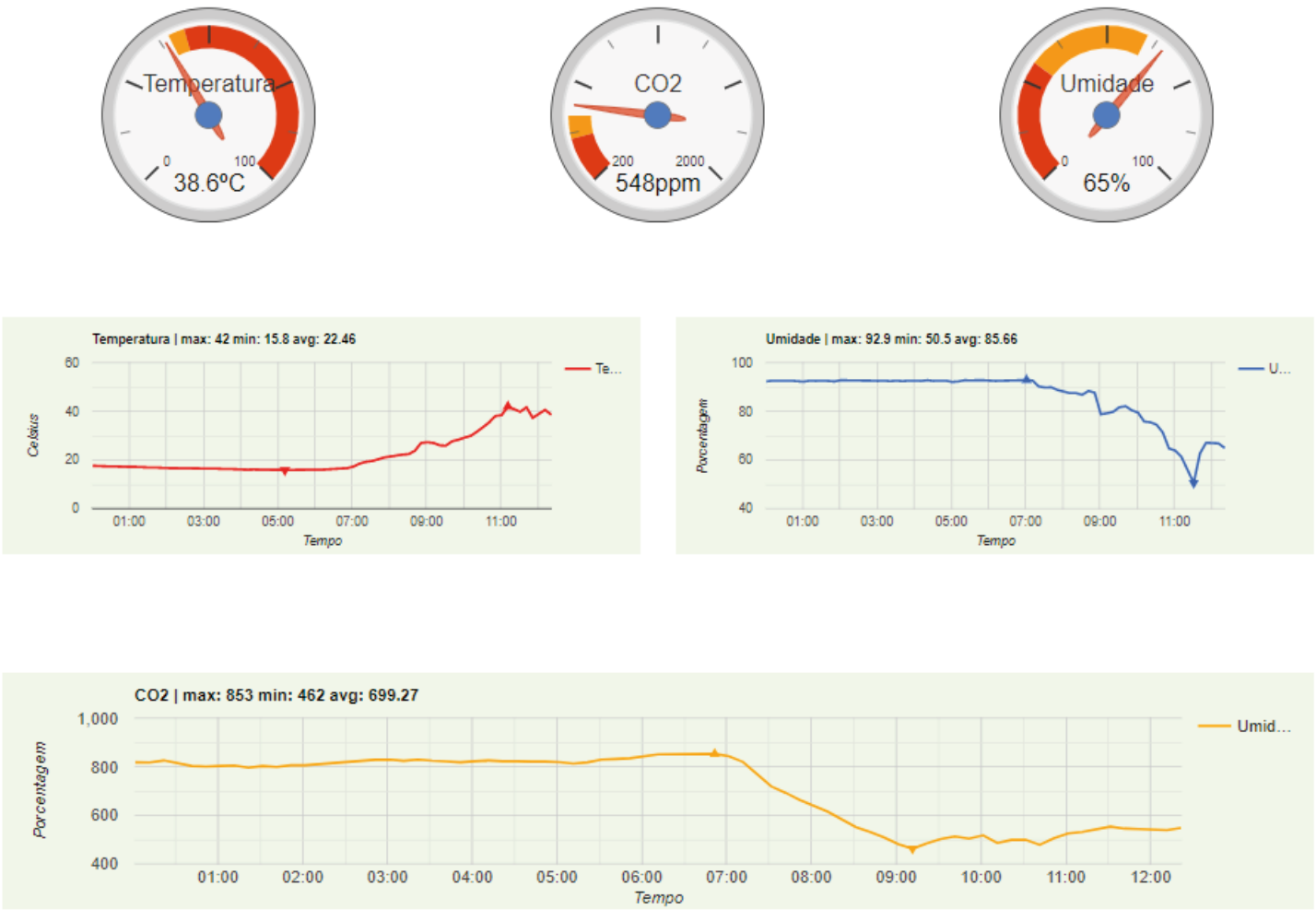


Figura 10. Sensores de umidade, temperatura e concentração de CO_2 no interior de estufim, mostrando o acúmulo de CO_2 durante a noite e seu consumo com a chegada da luz de manhã.
Crédito: Gustavo Baesso

Como a umidade cai quando os estufins são abertos, é recomendável mantê-los fechados e bem vedados para manter altos níveis de umidade no seu interior, sem deixar a temperatura ultrapassar os 40 °C. Isto é importante para que as altas temperaturas atingidas durante o dia, com os estufins fechados, não queimem as folhas das plantas. Com uma lâmina de água sobre as folhas, elas podem suportar essas temperaturas sem que isso lhes cause danos físicos.

Nutrição

A nutrição é um fator chave na predisposição ao enraizamento, devido ao seu envolvimento na determinação de respostas morfogenéticas nas plantas. Uma das mais importantes vantagens dos minijardins clonais hidropônicos é a possibilidade de fornecer uma nutrição bem balanceada às miniestacas (Assis et al., 2004). Na propagação vegetativa por miniestaquia, o estado nutricional determinará a quantidade de carboidratos, auxinas, entre outros compostos metabólicos, fundamentais à iniciação radicular e à velocidade com que ocorre (Assis et al., 2004; Cunha et al., 2009).

Um adequado balanço nutricional das minicepas está ligado à produção de triptofano, o precursor natural do AIA, mas alguns nutrientes são especialmente importantes para o enraizamento. O cálcio desempenha um papel importante, sobretudo, porque atua como ativador da peroxidase (Haissig, 1986; Estevez; Chambo, 2020). A deficiência de cálcio tende a induzir necroses apicais em miniestacas, podendo causar problemas no enraizamento e no desenvolvimento das plantas (McComb; Sellmer, 1987). A aplicação do fertilizante à base de sulfato de cálcio, principalmente em 160 g L^{-1} e 320 g L^{-1}, resultou em maior altura, diâmetro de colo, enraizamento das miniestacas e atividade de peroxidase para dois clones estudados (Estevez; Chambo, 2020).

Normalmente, as minicepas são muito responsivas ao nitrogênio, desde que haja suprimento adequado dos outros nutrientes. Estudos realizados por Rocha et al. (2015) mostraram que a dose de nitrogênio aplicada no minijardim influencia a produção de estacas. Já o enraizamento apresenta comportamento linear crescente com o aumento da dose. A dose de nitrogênio aplicada no minijardim também influencia significativamente na velocidade de enraizamento e no acúmulo de matéria seca das mudas formadas. Entretanto, é preciso ter cuidado com esse nutriente, pois, tem sido verificado na prática que níveis muito altos de nitrogênio podem predispor as plantas às doenças e às necroses apicais. Assim, o mais importante é ter uma fertilização equilibrada, tanto de macro quanto de micronutrientes.

Uma boa nutrição em minijardim clonal de teca, da Fazenda Verde Novo em Colíder, MT, foi obtida com a solução nutritiva composta por nitrato de cálcio (0,5 g L^{-1}), nitrato de potássio (0,5 g L^{-1}), fosfato de amônia (0,15 g L^{-1}), ácido bórico (2,5 mg L^{-1}), molibidato de sódio (2,5 mg L^{-1}), quelato de cobre (0,0015 mL L^{-1}), quelato de zinco (0,0005 mL L^{-1}), quelato de manganês (0,0005 mL L^{-1}) e quelato de ferro (0,0005 mL L^{-1}), fornecida por intermédio de um sistema de fertirrigação por gotejamento, acionado automaticamente uma vez por dia, à tarde (Badilla et al., 2017).

Na etapa de produção de propágulos, os principais fatores que geram estresse para as plantas são: a desnutrição, a irrigação deficiente e a salinidade. Como medidas de prevenção do estresse na produção de miniestacas, deve-se manter um adequado sistema de fertilização com acompanhamento periódico do status nutricional das minicepas. Isto é importante para a eliminação dos desequilíbrios nutricionais, com a reposição dos nutrientes que se encontram abaixo dos níveis adequados, ou a redução dos que estão acima desses níveis. É necessário contar com infraestrutura onde minimamente se possa controlar a temperatura, assim como ter um sistema de irrigação eficiente.

As dessalinizações periódicas dos leitos de areia e, adicionalmente, na véspera das coletas de miniestacas, são necessárias para assegurar maiores níveis internos de água. A formação de crostas de sal na superfície dos canteiros nos minijardins clonais é uma causa importante de perdas da sobrevivência de miniestacas. Com os leitos de areia salinizados, devido à pressão osmótica, frequentemente as plantas se apresentam murchas, apesar do substrato saturado de umidade. Nesse caso, as miniestacas coletadas não estarão no seu máximo de turgescência, o que contribui para acelerar o estresse e a consequente perda de sobrevivência e de enraizamento. Uma vez por semana, ou no máximo a cada 15 dias, os canteiros devem ser dessalinizados fazendo uma lavagem com o uso abundante de água de baixa condutividade elétrica.

Minijardins clonais virtuais

O conceito de minijardim clonal virtual foi proposto originalmente para eucalipto (Assis, 1997; Assis et al., 2004), mas tem sido utilizado operacionalmente também para outras espécies, tais como *Pinus taeda*, *Acacia mearnsii* (Assis et al., 2004) e teca. Este conceito se baseia em que qualquer miniestaca enraizada, com crescimento normal, quando atinge uma altura de cerca de 15 cm, tem seu ápice (7-8 cm) cortado para produzir uma nova miniestaca. Tão logo as novas miniestacas recém-enraizadas atingirem novamente cerca de 15 cm de altura (Figura 11), seus ápices poderão ser

novamente usados como uma nova fonte de miniestacas. Cria-se, assim, um mini-jardim clonal virtual, após alguns ciclos de reenraizamento e sem necessidade de área específica para produção de propágulos vegetativos. Essa coleta de miniestacas apicais de plantas enraizadas deve ser realizada na casa de sombra, onde os efeitos benéficos da redução de luz no enraizamento poderão ser obtidos.

O surgimento de brotações nas plantas utilizadas para a coleta de seu ápice para enraizar, torna-se uma opção extra para fornecer mais miniestacas para o processo, pois tanto os brotos produzidos nas plantas podadas, quanto os ápices das miniestacas enraizadas podem ser usados continuamente em um processo cíclico e auto-sustentado. Importante ressaltar que todas as plantas que cederam seus ápices, ou novas brotações para serem enraizadas, podem ser manejadas e irem para plantios de campo. Desta forma, todo o estoque de plantas produzido pode, efetivamente, fornecer novas miniestacas e, ao mesmo tempo, se constituir em mudas clonais comerciais. Este sistema representa uma excelente alternativa técnica, econômica e operacional e tem seu melhor desempenho se forem garantidas boas condições nutricionais nas plantas recém-enraizadas, que serão utilizadas como fontes de novos propágulos.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 11. Mudas enraizadas de teca no estágio ideal para utilização do conceito de minijardim clonal virtual.

A utilização desse novo conceito de produção de brotações para enraizamento encontrou na teca seu maior nível de sucesso, bem como sua aplicação mais exitosa até o momento. Operacionalmente, os índices de enraizamento obtidos com os minijardins clonais virtuais superam os 95%, constituindo uma forma simples e barata de acelerar a produção de mudas clonais de teca.

Enraizamento

Na preparação das miniestacas, as folhas devem ser cortadas para evitar excesso de perda de água por transpiração (Figura 12). Badilla (2014) observou que a redução da área foliar das miniestacas tem influência no seu enraizamento, na sua sobrevivência, bem como no seu crescimento em altura e em diâmetro do coleto. Foi verificada, também, que a manutenção de 25% da área foliar das miniestacas é mais adequada, em razão de apresentar melhores parâmetros das características avaliadas, bem como por não interferir na uniformidade da irrigação, nas fases de enraizamento e aclimatação, pois minimiza o “efeito guarda-chuva”.

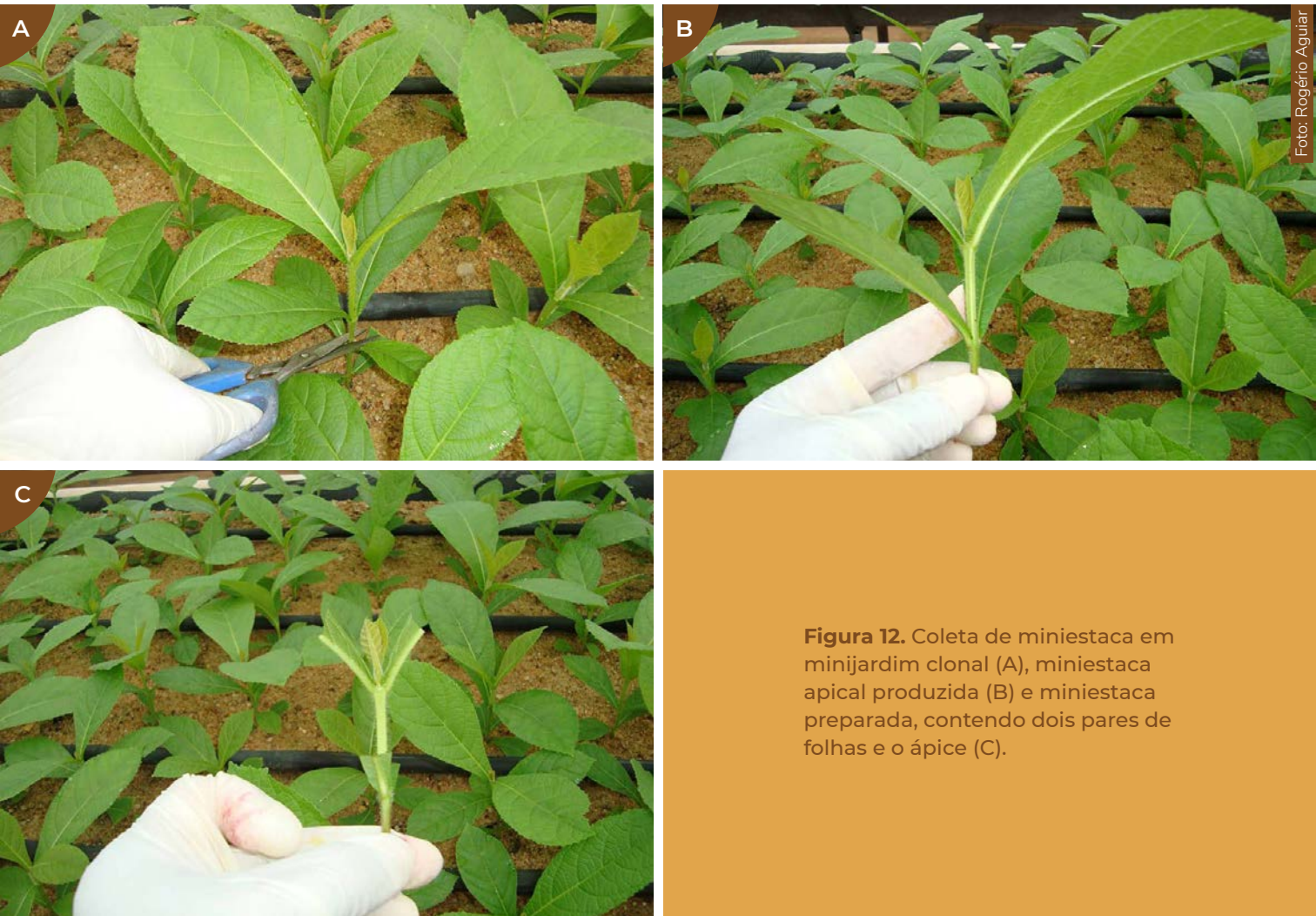


Figura 12. Coleta de miniestaca em minijardim clonal (A), miniestaca apical produzida (B) e miniestaca preparada, contendo dois pares de folhas e o ápice (C).

Embora as folhas das miniestacas sejam menores em relação àquelas das macroestacas, ainda assim são grandes, havendo necessidade de redução drástica da área foliar. As miniestacas são estabelecidas em casas de vegetação dotadas de sistemas de nebulização intermitente, com ambiente sombreado com aluminet ou sombrite (Figura 13).

Bons níveis de enraizamento são obtidos em substrato constituído de misturas de fibra de coco e vermiculita, ou turfa e vermiculita, fertilizado com adubo de liberação lenta, microgranulados, à base de 3 kg m^{-3} de substrato. Na propagação vegetativa de teca, enquanto na estaquia a aplicação de hormônios tem efeito positivo (Husen; Pal, 2003; Husen, 2012, 2013), na miniestaquia, a aplicação de hormônios é desnecessária (Badilla, 2014). Embora a dose de 2.000 mg L^{-1} tenha proporcionado mudas de maior massa seca e, consequentemente, de melhor qualidade (Di Carvalho, 2016), a utilização do AIB não influencia no enraizamento e sobrevivência (Gatti, 2002; Assis et al., 2004; Di Carvalho, 2016). Assim, na miniestaquia, a predisposição ao enraizamento é naturalmente maior e a aplicação de hormônios de enraizamento não tem efeito que justifique a sua utilização. Essa constatação já é bem conhecida na propagação do eucalipto (Xavier; Comério, 1996; Assis, 1997; Assis et al., 2004).

Na etapa de coleta, acondicionamento e transporte adequados de miniestacas também são importantes aspectos relacionados ao potencial hídrico do material vegetal, visto que podem ser afetados pelas altas temperaturas, pela incidência direta de sol e pela baixa umidade relativa do ar. Ademais, especialmente se as condições de armazenamento dos propágulos não são adequadas, o tempo que transcorre entre a coleta e o plantio das miniestacas pode contribuir para a ocorrência de estresse e pode reduzir o enraizamento.



Figura 13. Miniestacas de teca recém-plantadas (A) e em estádio de enraizamento na casa de vegetação (B).

Embora não tenha sido encontrado efeito do tempo de armazenamento (Badilla, 2014; Badilla et al., 2017), se as condições de armazenamento das miniestacas não forem adequadas, o enraizamento pode ser afetado por efeitos de estresse. Em dias muito quentes, o uso de sombreamento sobre os canteiros dos minijardins e a pulverização de água sobre as folhas das minicepas ajudam a reduzir a temperatura e, portanto, a transpiração. Nesta fase, como forma de prevenir a ocorrência de estresse, devem ser utilizadas embalagens adequadas nas quais se possam armazenar temporariamente as miniestacas e evitar a perda de água.

Em etapa posterior, quando as mudas estiverem aclimatadas, após 10-15 dias na casa de sombra (Figura 14), elas passam para o viveiro a céu aberto, onde devem crescer e rustificar até o ponto de expedição para plantio comercial (Figura 15). Uma muda clonal de teca é considerada adequada para plantio quando atinge de dois a quatro pares de folhas expandidas, com bom vigor e com boa sanidade, ou seja, livre de pragas e doenças.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 14. Miniestacas de teca enraizadas, em aclimatação na casa de sombra.



Foto: Teotônio Francisco de Assis

Figura 15. Mudas de teca em rustificação e crescimento a céu aberto.

Considerações finais

A observância de certos fatores relacionados com a propagação de espécies lenhosas pode aumentar o enraizamento e otimizar a produção operacional de mudas clonais de teca. Os fatores genéticos são importantes por permitirem a seleção e a multiplicação de indivíduos com maior facilidade de propagação e melhorar os resultados operacionais de produção de mudas. Por outro lado, o uso adequado dos conceitos de fisiologia da propagação, como alta juvenilidade, aliado à observância de fatores ambientais, importantes na propagação da teca, sobretudo alta temperatura, alta umidade e redução de luz nos minijardins clonais, asseguram alta predisposição ao enraizamento. Adicionalmente, baixos níveis de estresse durante o manuseio dos propágulos contribuem para a manutenção da predisposição ao enraizamento. O uso de estruturas de propagação, com adequado controle da umidade, temperatura e luz, propicia a obtenção de altas taxas de enraizamento, tirando proveito da alta predisposição dos propágulos a enraizarem. Esses fatores em conjunto e o seu pleno controle asseguram a possibilidade de obtenção de taxas de enraizamento adequadas à multiplicação operacional de indivíduos superiores de teca.

O resgate de matrizes selecionadas é feito, com sucesso, utilizando o abate ou o anelamento parcial dos troncos das árvores matrizes, que propicia a obtenção de brotos rejuvenescidos para iniciar o processo de clonagem. Embora haja outros métodos que possam ser utilizados, essas duas técnicas são as mais simples e fáceis de serem praticadas.

A miniestaquia tem sido recomendada como uma técnica adequada à clonagem operacional de teca, com vantagens técnicas claras em relação à macroestaquia, a técnica mais utilizada há até bem pouco tempo. A tendência é que sua adoção seja mais generalizada e venha ser o principal meio de propagação clonal de teca no Brasil.

Referências

ASSIS, T. F. de; BAUER, J. F. S.; ROSA, O. P. Efeito da redução de luz em jardins clonais sobre o enraizamento de estacas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais** [...]. São Paulo, SP: SBS, 1990. p. 454-455.

ASSIS, T. F. de; FETT-NETO, A.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on eucalypts In: WALTER, C.; CARSON, M. (ed.). **Plantation forest biotechnology for the 21th century**. Kerala, India: Research Signpost, 2004. p. 303-333.

ASSIS, T. F. de. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry. **BMC Proceedings**, v. 5, n. 7, p. 1-2, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-I18.

ASSIS, T. F. de. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. J. (ed.). **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14 April 2000, Noosa, Queensland. Brisbane: Department of Primary industries, 2000. p. 63-75.

ASSIS, T. F. de. Propagação vegetativa de *Eucalyptus* por microestaquia. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador, BA. **Proceedings** [...]. Colombo: CNPF-Embrapa, 1997, v.1. p. 300-304.

ASSIS, T. F. de; ROSA, O. P.; GONÇALVES, S. I. Propagação clonal de *Eucalyptus* por microestaquia. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata, RS. **Anais** [...]. Santa Maria, RS: UFSM, 1992. p. 824-837.

ASSIS, T. F. de; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de espécies lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (ed.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPH, 1998. p. 261-296.

ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. p. 93-121.

BADILLA, Y. **Clonagem de *Tectona grandis* Linn f. por estaquia e miniestaquia**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BADILLA, Y.; XAVIER A.; MURILLO, O.; PAIVA, H. N. IBA efficiency on mini-cutting rooting from teak (*Tectona grandis* Linn f.) clones. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p.477-485, 2016b. DOI: https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300011.

BADILLA, Y.; XAVIER A.; MURILLO, O. Resgate vegetativo de árvores de *Tectona grandis* Linn f. pelo enraizamento de estacas. **Revista Nativa**, v. 4, n. 2, p. 91-96, 2016a. DOI: https://doi.org/10.31413/nativa.v4i2.3407.

BADILLA, Y.; XAVIER, A.; MURILLO, O. Storage time effect on mini-cuttings rooting in *Tectona grandis* Linn f. clones. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, e410303, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300003.

BACCARIN, F. J. B.; BRONDANI, G. E.; ALMEIDA, L. V.; VIEIRA, I. G.; OLIVEIRA, L. S.; ALMEIDA, M. Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, v. 46, p. 465-483, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-015-9472-x.

BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D. QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. de. The use of mini-tunnels and the effects of seasonality in the clonal propagation of *Eucalyptus* in a subtropical environment. **Australian Forestry**, v. 78, n. 2, p. 65-72, 2015. DOI: https://doi.org/10.1080/00049158.2015.1039162.

CAMPINHOS, E.; IKEMORI, Y. K. Mass-production of *Eucalyptus* species by rooting cutting. **Silvicultura**, v. 8, p. 770-775, 1980.

COSTA, C. T.; ALMEIDA, M. R.; RUEDELL, C. M.; SCHWAMBACH, J.; MARASCHIN, F. S.; FETT-NETO, A. G. When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 133, p. 1-19, 2013. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00133.

CRESSWEL, R. J.; DE FOSSARD, R. A. Organ culture of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry**, v. 37, n. 1, p. 54-69, 1974.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; XAVIER A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 58, p. 35-47, 2009. DOI: https://doi.org/10.4336/2009.pfb.58.35.

DÍAZ-SALA, C. Direct reprogramming of adult somatic cells toward adventitious root formation in forest tree species: the effect of the juvenile-adult transition. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 5: 310, 2014. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00310.

DI CARVALHO, M. A. **Efeito da aplicação de ácido indolbutírico no enraizamento de miniestacas e na qualidade de mudas de *Tectona grandis* (Linn f.)**. 2016. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

DI CARVALHO, M. A. **Produção de mudas clonais de *Tectona grandis* (Linn f.) em diferentes sistemas de minijardim**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1994. 320 p.

ESTEVEZ, R. L.; CHAMBO, A. P. S. Doses of calcium sulphate increase the peroxidase activity and the rooting of *Eucalyptus* clones. **Revista Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 396-405, 2020. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509834369.

FRANCLET, A. Rejuvenation theory and practical experiences in clonal silviculture. In: MEETING OF THE CANADIAN TREE IMPROVEMENT ASSOCIATION, 1982, Toronto. **Proceedings** [...]. Toronto: The Canadian Tree Improvement Association, 1982. p. 96-134.

GATTI, K. C. **Propagação vegetativa de pau mulato (*Calycophyllyum supreceanum* (Benth) K. Schum), jequitibá (*Cariania estrellensis* Raddi Kuntze) e teca (*Tectona grandis* Linn. f.) por miniestaquia**. 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Rationale for developing intensive teak clonal plantations, with special reference to Sabah. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 285, n. 3, p. 5-15, 2005.

HAISSIG, B. E. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. In: JACKSON, M. B. (ed.). **New Root Formation in Plants and Cuttings**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p. 141-189.

HANSEN, J. Stock plant lighting and adventitious root formation. **HortScience**, v. 22, n. 5, p. 746-749, 1987.

HARTNEY, V. J. Vegetative propagation of the *Eucalyptus*. **Australian Forest Research**, v. 10, p. 191-211, 1980.

HUSEN, A. Clonal multiplication of teak (*Tectona grandis*) by using moderately hard stem cuttings: Effect of genotypes (FG1 and FG11Clones) and IBA treatment. **Advances in Forestry Letters**, v. 2, n. 2, p. 14-19, 2013.

HUSEN, A. **Clonal propagation of teak (*Tectona grandis* Linn. f.)**. Adventitious Root Formation: Influence of Physiological and Chemicals Factors. Lambert Academic Publishing, 2012. 427 p.

HUSEN, A.; PAL, M. Clonal propagation of *Tectona grandis* (Linn. f.): effect of IBA application and root regeneration on vertically split cuttings. **Silvae Genetica**, v. 52, n. 3/4, p. 173-176, 2003.

HUSEN, A.; PAL, M. Variation in shoot anatomy and rooting behaviour of stem cuttings in relation to age of donor plants in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **New Forests**, v. 31, v. 1, p. 57-73, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-004-6794-5.

HUSEN, A. Rejuvenation and adventitious rooting in coppice-shoot cuttings of *Tectona grandis* as affected by stock-plant etiolation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 2, p. 370-374, 2011.

LAMKEY, K. R. Quantitative genetics of heterosis. In: ASA-CSSA-SSSA (ed.). **The genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: Iowa State Universit, 1999. p. 31-43.

MCCOMB, B. H.; SELLMER, J. C. General media and vessels suitable for woody plants culture. In: BONGA, J. M.; DURZAN, D. J. (ed.). **Cell and tissue culture in forestry**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. v. 1, p. 4-16.

MESÉN, F. **Enraizamiento de estacas juveniles de espécies forestales**: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1998. 36 p. (CATIE. Série técnica. Manual técnico, 30).

MONTEUUIS, O.; GOH, D. K. S. About the use of clones in teak. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 261, n. 3, p. 28-38, 1999.

NANDA, K. K.; JAIN, M. K.; MALHOTRA, S. Effects of glucose and auxins in rooting etiolated stem segments of Populus nigra. **Physiologia Plantarum**, v. 24, p. 387-391. 1971.

OLIVEIRA L. S.; DIAS, P. C.; ALMEIDA, M. Avaliação genética do enraizamento de miniestacas de uma procedência de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 391-397, 2015. DOI: https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.890.

PACKIALAKSHMI, M.; SUDHAGAR, R. J. Standardization of rooting hormone in mini clonal technology of *Tectona grandis* Linn. f. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 3, p. 4398-4401, 2019.

PALANISAMY, K; GIREESAN, K.; NAGARAJAN V.; HEGDE, M. Selection and clonal multiplication of superior trees of teak (*Tectona grandis*) and preliminary evaluation of clones. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 2, p. 168-174, 2009.

PALANISAMY, K.; SUBRAMANIAN, K. Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 50, p. 5-6, 2001.

PATON, D. M.; WILLING, R. R. Inhibitor transport and ontogenetic age in *Eucalyptus grandis*. In: **Plant growth substances**. Tokyo: Hirokawa Publishing Co, 1974. p. 126-132.

PIJUT, P. M.; WOESTE, K. E.; MICHLER, C. H. Promotion of adventitious root formation of difficult-to-root hardwood tree species. **Horticultural Reviews**, v. 38, p. 213-251, 2011. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470872376.ch6.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; BORELLI, K.; PRIETO, M. R.; SANTOS, A. J. M.; GODINHO, T. O. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 273-279, 2015. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509818411.

SANTOS, A.; AGOSTINI, F.; ALMEIDA, B. C.; GAVA, F. H.; FAVARE, H. G.; BARBOSA FILHO, J.; COSTA, R. B.; BRONDANI, G. E. Clones production of *Tectona grandis*. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 2, p. 75-82, 2014.

SOUZA, C. C.; XAVIER, A.; LEITE, F. P.; SANTANA, R. C.; PAIVA, H. N. Densidade de minicepas em minijardim clonal na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 49-56, 2014. DOI: https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.512.

SURENDRAN, T. **Studies on clonal propagation of plus trees of teak for identifying superior trees for future plantation programmes**. Kerala: Kerala Forest Research Institute. 2014. 24 p. (Kerala Forest Research Institute. KFRI/290/98).

VIEITEZ, F. J.; BALLESTER, A. Effect of etiolation and shading on the formation of rooting inhibitors in chestnut trees. **Phyton**, v. 48, n. 1/2, p. 13-19, 1988.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 20, n. 1, p. 9-16, 1996.

WAREING, P. F. Problems of juvenility and flowering in trees. **Journal of the Linnean Society of London**, v. 56, p. 282-289, 1959.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado em espécies florestais. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 187-194, 2001.

ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 505 p.



9

Aspectos silviculturais da teca

Samuel de Pádua Chaves e Carvalho
Reginaldo Antonio Medeiros
Rafael Ferreira Alfenas
Alexandre dos Santos
Fausto Hissashi Takizawa
Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho

Introdução

A teca (*Tectona grandis* L. f.) é uma espécie de origem asiática e foi considerada em 2014, pela FAO, como uma das espécies florestais prioritárias a ter os seus recursos genéticos conservados (FAO, 2014). Este fato é também explicado pela alta performance da espécie para o suprimento das demandas globais de madeiras tropicais de rápido crescimento e, também, por suas propriedades tecnológicas da madeira. Esta espécie se destaca dentre as demais visto a sua ampla aplicação industrial, por exemplo, na produção de móveis finos e na construção naval, tornando-a detentora de uma das mais valiosas madeiras tropicais de alta densidade do mundo, podendo ser comercializada por até US$ 2.000,00 m^{-3}, dependendo da qualidade da tora (Kollert; Kleine, 2017).

Os altos valores associados às madeiras tropicais de alta durabilidade estão atrelados à demanda anual global, que é da ordem de 90 milhões de m^3, porém, quase totalmente originárias da devastação das florestas tropicais (aproximadamente 13 milhões de ha ano^{-1}), em um contexto global de produção de florestas de apenas 10 milhões de ha certificados. Assim, a teca representa uma das principais espécies capazes de suprir parte desta demanda, visto ainda a sua baixa oferta nos mercados internacionais (da ordem de 3 milhões de m^3 ano^{-1}), com a participação de aproximadamente 70 países, distribuídos na Ásia, na África, na América Latina e na Oceania (Keogh, 2009; Kollert; Kleine, 2017).

Esta distribuição na zona tropical é uma das características mais marcantes dessa espécie, visto que o seu desenvolvimento e, por consequência, produção estão intimamente relacionados com as características edafoclimáticas desta zona no globo. A teca ocorre naturalmente entre as latitudes 10° e 25° Norte, nos países do Sudeste Asiático (Índia, Mianmar, Tailândia e Laos), totalizando aproximadamente 21,5 milhões de ha de área de ocorrência natural, sendo que aproximadamente 50% ocorre em Mianmar (FAO, 2010 citado por Ugalde Arias, 2013). Já as plantações de teca totalizam um valor aproximado de 4,35 milhões de ha, sendo que mais de 80% estão no continente Asiático e apenas pouco mais de 6% na América.

No Brasil, a espécie foi comercialmente introduzida na década de 1970 pela Empresa Cáceres Florestal S.A., por meio de plantios seminais de mudas do tipo stump (raiz nua), no município de Cáceres, estado de Mato Grosso, com produção de 237 m^3 ha^{-1}, em uma rotação de 33 anos e, portanto, um incremento médio anual (IMA) de 7,18 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Chaves,

2013). Nos dias atuais, a área plantada com a espécie corresponde a aproximadamente 93 mil ha, com expressivo crescimento da ordem de 43% na última década (Indústria Brasileira de Árvores, 2019). Com a introdução de clones no ano de 2003, bem como os avanços na silvicultura e manejo da espécie, a produtividade das plantações de teca aumentou significativamente, variando entre valores de 10-20 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, em uma rotação projetada de 20 anos (Rance et al., 2013; Budiadi; Ishii, 2017). Um fato relevante é que a espécie não resiste à geada e, ou à baixas temperaturas de inverno, portanto não sendo recomendado o seu plantio em áreas com históricos de geadas (Kaosa-Ard, 1998). Quanto às condições edáficas, os plantios devem ser estabelecidos em solos variando de franco-arenosos a argilosos, com média à alta fertilidade natural, drenados e profundos (Lamprecht, 1990).

Diante deste contexto, serão apresentadas neste capítulo quatro seções envolvendo desde a definição das áreas produtivas à gestão do empreendimento para a produção de árvores de teca, por meio de expertises, e uma ampla revisão bibliográfica, a fim de contribuir sobre a temática “Aspectos Silviculturais”.

Planejamento e seleção de área para plantios comerciais de teca

Assim como qualquer outra atividade econômica, a decisão pelo estabelecimento de plantações de teca deve ser muito bem planejada. O planejamento é a primeira etapa em um processo de tomada de decisão, visando à alocação de recursos e à sustentabilidade do investimento, sendo, portanto, o ponto chave para o sucesso das plantações de teca. Acerca destes pontos, podem-se citar algumas etapas como, por exemplo, a escolha da teca para o estabelecimento de um plantio florestal deve estar atrelada à cadeia produtiva da espécie. Sabe-se que se trata de um mercado predominantemente externo, que demanda produtos de alta qualidade, com dimensões e idades adequadas, a fim de obter a proporção ideal de cerne/alburno, e, também, que é uma espécie de ciclo mais longo (projeção de rotação de 20 anos para povoamentos clonais bem manejados no Brasil), quando comparado ao ciclo de sete anos dos povoamentos clonais do gênero *Eucalyptus* destinados à produção de biomassa.

A escolha da área é o primeiro ponto a ser observado, sendo fundamental para o sucesso da plantação de teca. Assim, devem ser respeitadas as suas restrições ambientais, buscando aglutinar condições climáticas (temperatura e precipitação pluviométrica) e

edáficas adequadas que proporcionem um ótimo crescimento à espécie. A teca é exigente em qualidade de solo, tanto ao aspecto ligado à química quanto à física do solo. Os solos devem ser férteis, sem alumínio, com pH próximo ao neutro, profundos e bem drenados. Em muitas ocasiões não será possível encontrar todas estas características físico-químicas de solo ideais para a teca e, quando isso ocorrer, será necessário melhorias destas condições por meio do seu preparo e manejo adequados. Detalhes acerca destas operações serão descritas em tópico específico deste capítulo.

Uma vez atendidos os requisitos ambientais favoráveis ao ótimo estabelecimento e crescimento da teca, devem ser também avaliados outros aspectos como: topografia do terreno, infraestrutura de transporte, seleção e adaptação de maquinário, escolha de técnicas e operações florestais adequadas à teca, de acordo com as características e peculiaridades locais, disponibilidade de energia elétrica e recursos humanos qualificados. São preferíveis as áreas com relevo plano a suave ondulado, com boas estradas e pontes, com disponibilidade de energia elétrica e próximas às regiões urbanas e, ou povoados que possam fornecer mão de obra.

A seguir é apresentado um fluxograma que resume os principais passos para a escolha da área, para o estabelecimento de plantios de teca (Figura 1).

As descrições detalhadas de cada componente do fluxograma são apresentadas a seguir:

- Estudo e análise das condições climáticas da área de interesse: Apesar da teca ocorrer em uma grande amplitude de condições ambientais (altitude, temperatura e precipitação pluviométrica, dentre outras), suas plantações para fins econômicos devem atender critérios ambientais mínimos que permitam o seu crescimento, de modo a produzir quantidade de madeira suficiente para que haja viabilidade econômica ao empreendimento. Portanto, nesta etapa, é necessário levantar os dados climáticos, edáficos e de altitude, como garantia de que a área de interesse atenda aos requisitos mínimos (Tabelas 1 e 2).

- Levantamento da área por meio de imagens de satélites ou drones: Pelas imagens aéreas, são localizadas as vias de acesso, os povoados, a hidrografia; se faz possível uma classificação prévia das classes de uso do solo, como áreas consolidadas com potencial para o plantio da teca, vegetação nativa, áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal, potenciais passivos ambientais, dentre outros, além da indicação de pontos e áreas para verificação e validação em campo.

- Levantamento e verificação em campo: Validação e correção dos dados indicados por imagens aéreas, como áreas úteis para o plantio, áreas de conservação, bacias hidrográficas, infraestrutura existente, disponibilidade e situação das estradas, aceiros e pontes, coleta de amostras de solos e verificação das condições físicas do solo, especialmente profundidade e drenagem.

- Elaboração do mapa e relatório para a tomada de decisão: Todos os dados descritos acima, uma vez validados e disponíveis, devem ser alocados espacialmente e as informações chaves para a tomada de decisão devem constar no mapa e no relatório: área consolidada apta para plantio sem restrição, área consolidada apta com restrições, área consolidada sem aptidão, áreas e tipos de passivos ambientais encontrados, situação e possíveis melhorias em infraestrutura, disponibilidade e localização de mão de obra local.

- Planejamento da implantação da teca: No caso de viabilidade, a próxima etapa é o planejamento da implantação dos plantios de teca, descrito em tópico específico deste capítulo.

É também importante que o produtor tenha consciência de que a teca é uma espécie extremamente sensível aos fatores edafoclimáticos e fisiográficos. Como bem descrito por Thiele (2008) e citado por Camino e Morales (2013), existe uma maior relação entre os fatores climáticos e os fisiográficos na definição de sítios para o estabelecimento de plantios de teca, quando comparados aos aspectos químicos e físicos do solo. Assim, alguns fatores podem restringir o crescimento da teca, como exemplos: altitudes acima de 700 m; solos compactados e com restrições de armazenamento de água e, ou susceptíveis ao encharcamento; temperaturas abaixo de 13 ºC ou acima de 40 ºC; locais com históricos de geadas; solos muito ácidos ou extremamente básicos, mal drenados e com elevado teor de argila. Já outros fatores potencializam o seu desenvolvimento, tais como: solos naturalmente férteis de origem aluvial, básicos, bem drenados e com boa capacidade de retenção de umidade, não deficitários em nitrogênio, capazes de reterem bases e com profundidade acima de 90 cm (Gangopadhyay et al.,1987; Drechsel; Zech, 1994; Jha, 1999 citados por Silva, 2017). Assim, os plantios de teca não devem ser efetuados em áreas marginalizadas e que não possuam as condições mínimas necessárias ao seu desenvolvimento.

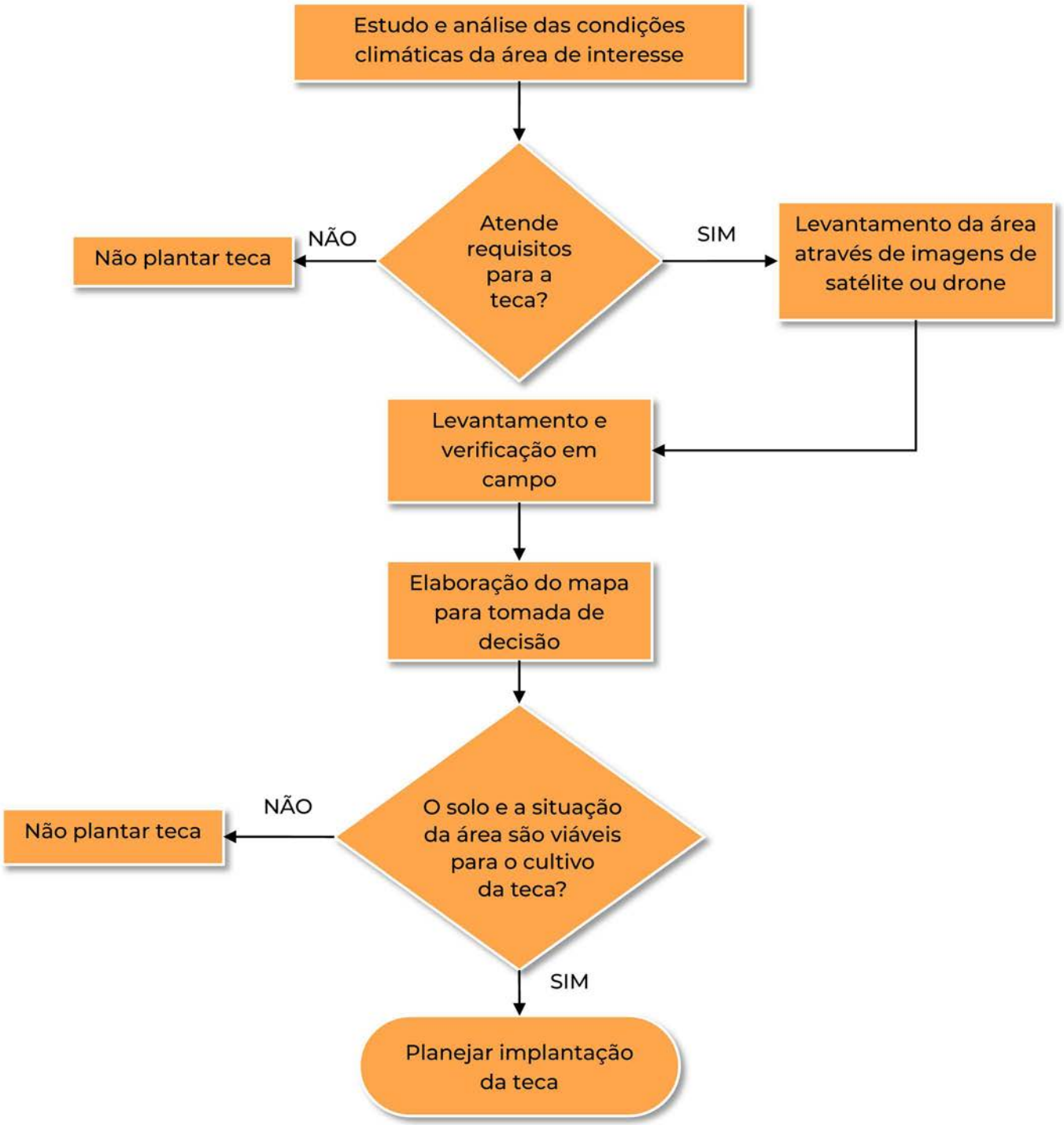


Figura 1. Fluxograma para definição de áreas para o estabelecimento de plantios de teca, considerando que a área de interesse se encontra em raio econômico viável para exportação da madeira e, ou para atendimento de possíveis demandas do mercado interno.

Ilustração: Fausto Hissashi Takizawa

Tabela 1. Síntese dos fatores climáticos, topográficos e de solos para o estabelecimento de plantios comerciais de teca.

Característica do local	Condição ideal	Condição limitante
Climática e topográfica		
Latitude	Trópicos	Subtropical frio
Altitude (m)	0-900	> 900
Temperatura (°C)	22-27	Presença de geada e mais de 2 meses com temperaturas mínimas inferiores a 13
Precipitação pluviométrica (mm)	1.200-2.500	<750-1.200 ou >4.000-5.000
Sazonalidade	3-5 meses de estação seca	> 6 meses; verão com estação chuvosa inferior a 3 meses
Declividade (%)	0-25	Encostas com muita presença de ventos
Fisiografia	Em fundo de vales	Topo de morro, encostas secas e com muita presença de ventos
Topografia	Plana à ondulada	Abruptas, com depressões susceptíveis ao encharcamento e pedregosas
Propriedades do solo*		
Origem	Aluvial, basáltico, calcário, arenito, quartzito ou xisto	Calcário / laterítico
Horizonte	Horizontes O, A e B bem estruturados	Carência dos horizontes O e A; afloramentos rochosos; Horizonte B ácido e exposto
Textura	Média argilosa	Solos muito argilosos com grande coesão; arenosos
Profundidade (cm)	90-200	Abaixo de 90; pedregosos e com restrições químicas
Capacidade de retenção de água	Boa	Ruim
Compactação	Não compactados	Muito compactados
Densidade aparente	Baixa	Alta
Drenagem	Boa	Baixa ou excessiva
Aeração	Alta	Baixa

*As características químicas serão apresentadas em uma tabela específica.

Fonte: Kollert e Kleine (2017).

Tabela 2. Síntese das principais características químicas do solo para o estabelecimento de plantios comerciais de teca.

Propriedade química do solo	Potencial produtivo	
	Alto	Baixo
Acidez (pH)	5,50-8,00	< 5,50 ou > 8,50
N (%)	0,03-0,12	-
P (mg L^{-1} ou ppm)	5,00 (150,00-160,00)	-
K trocável (mEq 100^{-1} g de solo)	0,14-0,36	-
Ca (cmol+ lt^{-1})	>10,00	-
Relação de macronutrientes	Ca>N>K>P>Mg>S ou N>P>K>Ca>Mg>S	
Relação de micronutrientes	Fe>Zn>B>Mn>Cu	-
Capacidade de troca catiônica (mEq 100^{-1}g CA+Mg+K)	10,00	< 5,00
Mn (ppm)	-	< 15,00
S (mEq 100^{-1}g)	> 8,00	< 8,00
Saturação de alumínio (%)	3,00	> 5,00
Saturação de cálcio (%)	> 67,00	-
Saturação de potássio (%)	3,09	< 3,00
Matéria orgânica (%)	> 4,00	< 0,80

Fonte: Kollert e Kleine (2017).

Ressalta-se ainda que, de acordo com Matricardi (1989), os teores de argila ótimos para a produção de teca estão entre 35-45%, sendo, portanto, não sustentável o estabelecimento de plantações com a espécie em solos com teores inferiores a 5% ou superiores a 65%. Outro ponto relevante observado pelo autor diz respeito às faixas de valores de cálcio e alumínio no solo, como elementos de maior importância ao desenvolvimento da teca, cujos valores de cálcio superiores a 4 mEq 100 g^{-1} de solo combinados com a ausência de alumínio (0 mEq 100 g^{-1} de solo) e com outros fatores, possibilitam produtividades da ordem de 15-20 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

A fim de verificar a aptidão da espécie nas diferentes regiões em Mato Grosso, quanto aos fatores climáticos (temperatura, precipitação pluviométrica, velocidade do vento, umidade relativa do ar, evapotranspiração potencial e radiação solar), Medeiros (2016) concluiu que os principais sítios recomendados para a espécie estão localizados na região sudoeste desse estado e, por coincidência, é exatamente onde está localizada a quase totalidade dos plantios da espécie em Mato Grosso (Figura 2) (Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso, 2013).

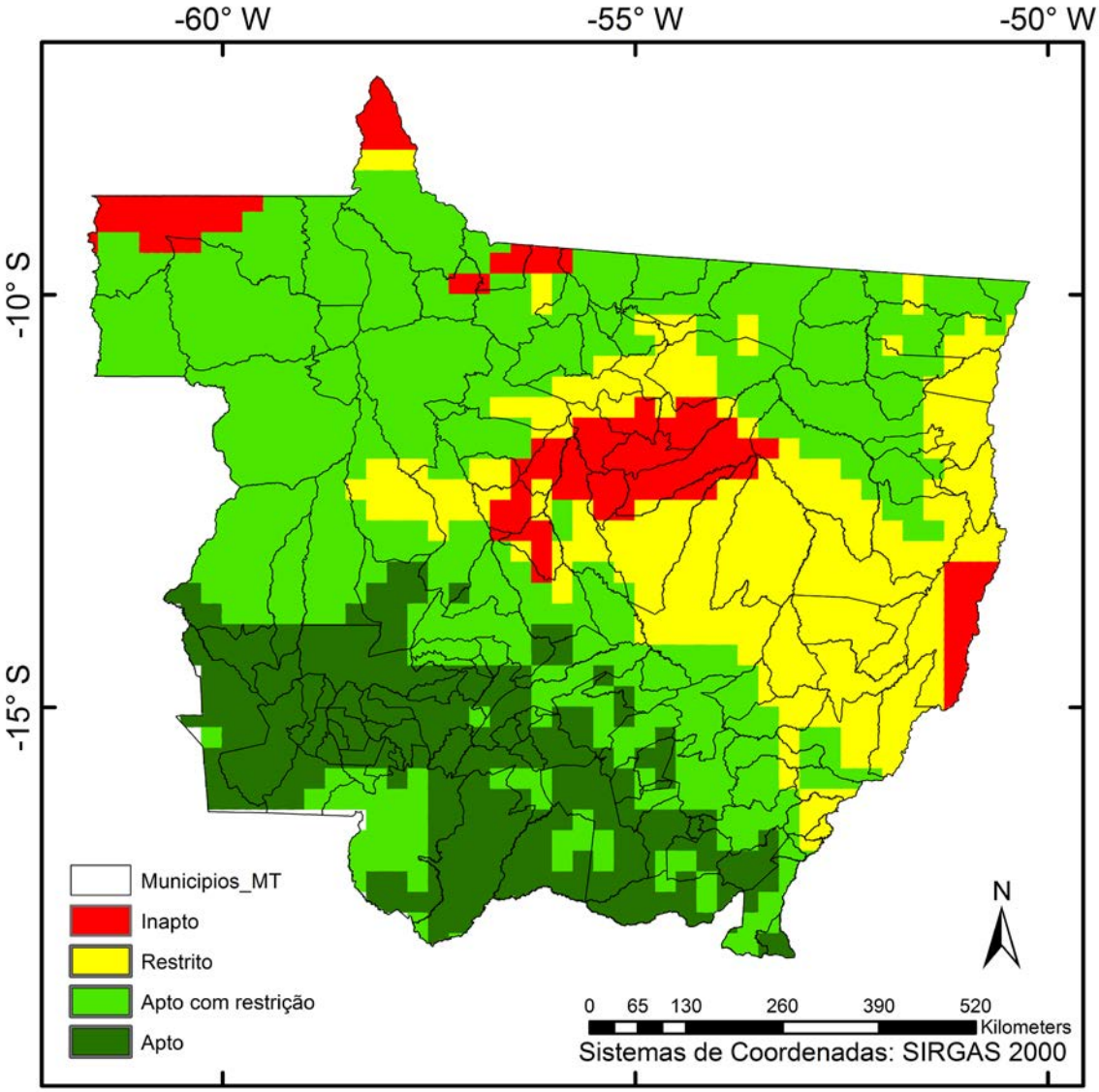


Figura 2. Aptidão climática para teca, no estado de Mato Grosso.
Fonte: Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2018, 2022).

Por outro lado, Medeiros (2016) também avaliou a aptidão da teca para o estado de Mato Grosso, considerando variáveis edáficas (classe de solo, textura, profundidade efetiva e drenagem) e fisiográficas (altitude, inclinação do terreno, exposição do terreno e índice topográfico de umidade – ITW) e verificou maiores restrições em todas as regiões quanto a estas características, sobretudo, àquelas relacionadas aos fatores edáficos (Figura 3). De acordo com Golfari et al. (1978), o clima condiciona a possibilidade de adaptação e de cultivo de uma espécie, procedência ou clone, enquanto o solo regula o nível de produção.

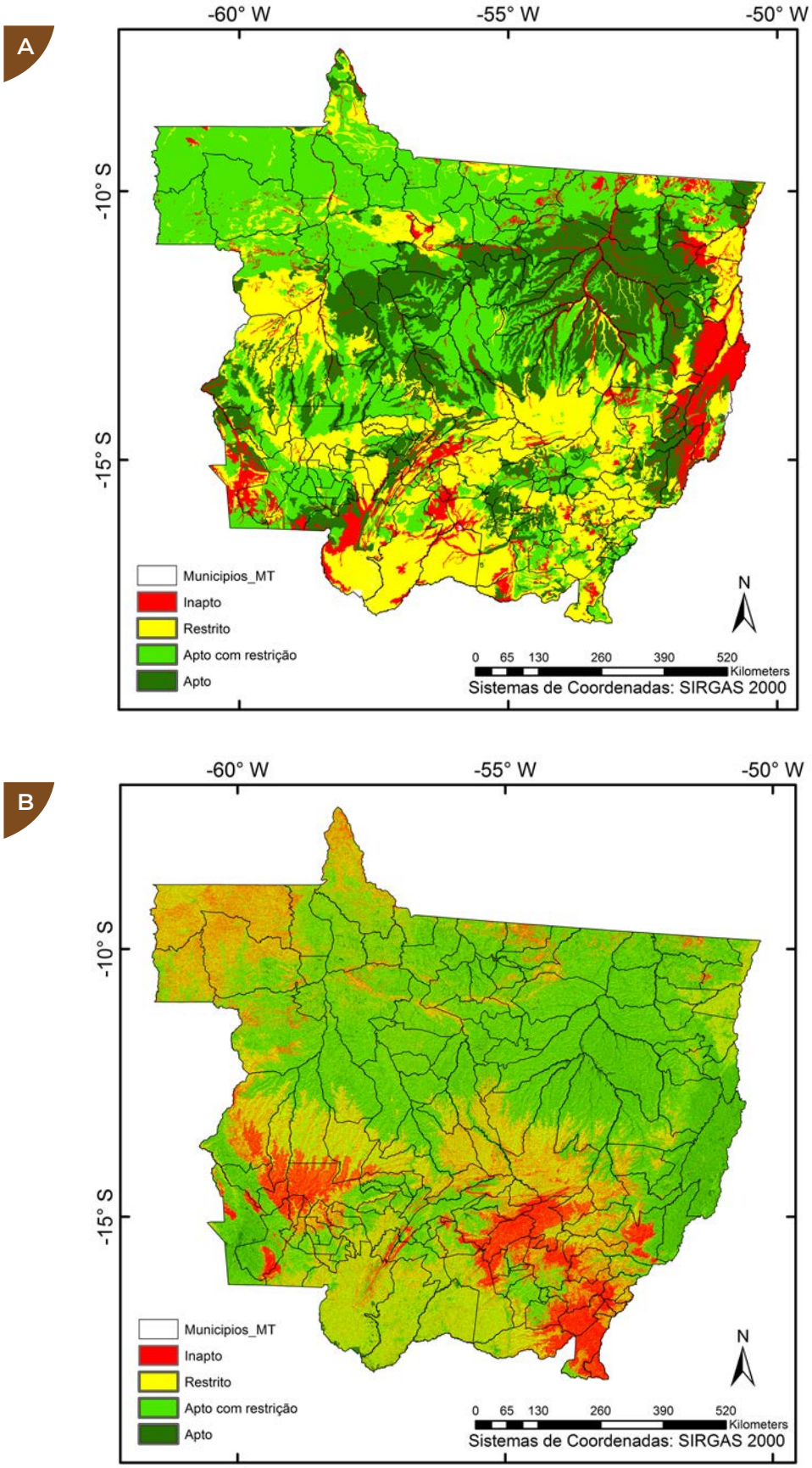


Figura 3. Mapas de aptidão edáfica (A) e fisiográfica (B) para o cultivo de teca no estado de Mato Grosso.
Fonte: Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2018, 2022).

Preparo da área e implantação de povoamentos comerciais de teca

Esta etapa se caracteriza pela execução do projeto, previamente elaborado e com viabilidade (econômica, legal e técnica) factível. A efetividade da execução do projeto dependerá de diversos fatores abordados a seguir e, de modo especial, do treinamento das equipes e da qualidade das operações realizadas por elas.

Em um cenário marcado pela busca constante por reduzir custos sem perder qualidade, por ser competitivo e por alcançar os objetivos propostos inicialmente, tal como alcançar a produtividade esperada das plantações, muitos silvicultores têm adotado e aplicado o mecanismo de controle de qualidade em todo o empreendimento florestal, seja em nível de escritório, seja em nível de campo. Entre estes mecanismos, destacam-se as ferramentas de qualidade (Trindade et al., 2012). De acordo com os autores, ferramentas da qualidade são instrumentos utilizados para auxiliar e dinamizar reuniões; elaborar projetos; padronizar atividades; organizar informações; priorizar, gerenciar e solucionar problemas; contribuindo para o gerenciamento e o êxito das atividades. Contudo, há a necessidade de treinamento e engajamento dos agentes no processo como um todo.

Caracterização do local

A escolha do local para o cultivo da teca é a etapa inicial de um empreendimento florestal. Além de avaliar se as características do local ou da região (clima, solo e fisiografia) atendem às exigências ecológicas e silviculturais da espécie, o silvicultor deve observar se o imóvel se encontra regularizado no âmbito fundiário e ambiental. Quanto às questões fundiárias deve-se observar se o imóvel é georreferenciado, se existe matrícula em cartório de registro de imóveis, bem como se o imóvel possui alienação à margem da matrícula, Certificado de Cadastro do Imóvel Rural (CCIR) atualizado, Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR), certidões negativas (criminal, cível, trabalho, ônus, receita municipal, estadual e federal), entre outros. Quanto à questão ambiental, deve-se observar o bioma em que o imóvel está inserido, podendo haver necessidade de estudos de tipologia, por exemplo, Decreto nº 1.025 de 29/07/2021 do Governo do Estado de Mato Grosso (Mato Grosso, 2021). Além disso, deve-se observar se o imóvel possui Cadastro Ambiental Rural (CAR/SIMCAR), se está em conformidade com Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Brasil, 2012), por exemplo, como está a situação da área de reserva legal e de preservação permanente. É fundamental observar

todas as exigências dos órgãos governamentais em nível federal, estadual e municipal em que o projeto será implantado, de modo a atender às obrigações legais.

Outro aspecto importante é conhecer o histórico de uso e de ocupação do solo. Informações sobre tempo de uso e quais atividades foram realizadas anteriormente no local (agricultura, pecuária ou floresta), se houve aplicações de produtos químicos (avaliar efeito residual), avaliar a cobertura vegetal atual (pastagem, capoeira, dentre outras), as benfeitorias (cercas, construções, dentre outras), vias de acesso (estradas), limites da propriedade, dentre outras. Estas informações são importantes para subsidiar o planejamento da infraestrutura necessária para as atividades de limpeza do terreno, preparo do solo, talhonamento, locação de estradas e aceiros.

É também importante buscar informações sobre o regime de precipitação pluviométrica anual (volume e distribuição), com a finalidade de identificar os períodos de déficit e excesso de água no solo e, identificar o período de seca (estação seca), caracterizado pelos meses com menos de 50 mm de precipitação pluviométrica (Keogh, 1987; Kaosa-Ard, 1989). Estas informações auxiliarão no planejamento das atividades, principalmente, quanto ao início da época de plantio, programas de irrigação, aplicação de práticas silviculturais, entre outras.

Deve-se considerar que a silvicultura de precisão tem auxiliado de modo significativo no planejamento e na execução das atividades dos empreendimentos florestais (Maeda et al., 2014). Como exemplo, na fase inicial de planejamento, estudos relacionados à topografia do terreno, com base em modelos digitais de elevação, têm possibilitado a obtenção de atributos topográficos como hipsometria, inclinação e orientação da vertente, entre outras. Estas informações são importantes para planejar e definir o layout da área efetivamente produtiva e das áreas de preservação permanente, de reserva legal, de benfeitorias e de outras atividades.

A análise da paisagem e o conhecimento do relevo (altitude e inclinação do terreno), das propriedades do solo, tanto em superfície quanto em profundidade, seja química (pH, acidez, macro e micronutrientes) ou física (profundidade efetiva, drenagem e textura) são essenciais para alcançar bons índices de produtividade florestal, já que fatores edáficos podem ser limitantes (Golfari et al., 1978). De acordo com Maeda et al. (2014), as informações advindas da caracterização do solo e do relevo devem ser agrupadas por talhão, para facilitar a definição de regimes de manejo mais específicos em cada área.

O mapeamento do solo, obtido por amostragens em profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, também permite o mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo.

Além disso, com os recursos de geotecnologias, torna-se factível a elaboração de mapas da variação espacial destes atributos, os quais poderão ser utilizados em intervenções pontuais de modo mais efetivo nos plantios florestais (Vettorazzi; Ferraz, 2000).

As amostras de solos são coletadas ao final da estação chuvosa, por meio de equipamentos, tais como os trados (holandês, rosca ou sonda) e a pá reta. O silvicultor pode fazer uso de enxadas, enxadões, pás e cavadeiras e, também, precisará de um balde e de sacos plásticos para colocar as amostras, ambos isentos de qualquer material contaminante (esterco, adubo, terra de cupinzeiro, dentre outros). Os pontos de coletas das amostras, bem como a quantidade de solo a ser coletada, irão depender da necessidade de cada empreendimento, sendo que, quanto mais heterogênea a área, maior número de amostras. Por talhão, recomenda-se coletar 10-20 amostras. O importante é que a amostragem seja representativa de uma determinada região de coleta. Várias amostras simples constituem uma amostra composta que será enviada para laboratório (Paiva et al., 2011). Recomenda-se fazer trincheiras, as quais consistem em uma seção vertical do terreno, com perfuração da superfície até o material de origem, para avaliar o perfil, a profundidade efetiva e a classe de solo (Santos et al., 2015).

Infraestrutura

Na área produtiva, ainda em escritório, são delimitados os talhões que compreendem as unidades básicas de planejamento e de operacionalização de todas as atividades, além das áreas de estocagem de madeira, de manobras de veículos, de estradas e de aceiros. A delimitação dos talhões é feita em função das atividades de colheita, das características do local (solo e inclinação do terreno), locação de estradas e aceiros, considerando ainda a conservação do solo e da água (Paiva et al., 2011). Em geral, os talhões possuem área de 20-30 ha, com largura mínima de 200 m e comprimento de, no máximo, 1.000 m. O talhão deve apresentar características mais homogêneas possíveis, tais como: genótipo das árvores, preparo do solo, espaçamento, inclinação do terreno, entre outras.

Os aceiros devem apresentar leito carroçável, bom escoamento de água e boa trafegabilidade durante todo o ano. A depender das características do terreno, recomenda-se que sejam locados no sentido Leste-Oeste, permitindo secagem mais eficiente do seu leito no período chuvoso. Paiva et al. (2011) recomendam que as estradas principais, que mantêm ligações diretas com as vias de acesso da propriedade, devem possuir largura de 8 m e apresentar melhor acabamento, com bom sistema de drenagem e, se possível, encascalhadas.

Já as estradas secundárias que dividem os talhões devem possuir largura mínima de 5 m. Os autores recomendam ainda que as construções de pontes, de bueiros e de aterros devem ser executadas seguindo normas de segurança e de qualidade, já que terão que suportar tráfego de máquinas e veículos pesados. Orientam ainda que, em áreas inclinadas, sejam construídos camalhões (para diminuir a velocidade da água) e caixas de contenção, possibilitando que a água infiltre no solo. É também necessário estabelecer locais para depósito temporário de madeira colhida (esplanada), locais para cruzamento e manobras de veículos longos, sobretudo, na época das colheitas florestais (desbastes e rotação final).

Limpeza da área

Esta operação consiste na eliminação ou na redução da vegetação remanescente de material lenhoso ou de outros impedimentos existentes onde será implantado o povoamento florestal (cercas, cupinzeiros, por exemplo), para facilitar as operações seguintes. As operações podem ser manuais, mecanizadas, químicas ou combinadas. Sua escolha vai depender da situação em que a área se encontra, tais como: tipo de vegetação, histórico de uso e ocupação, topografia, tamanho da área, entre outros fatores (Paiva et al., 2011).

A depender do tipo de vegetação, o proprietário deverá consultar um engenheiro florestal também para avaliar a necessidade de licença ambiental para supressão da vegetação, como exemplo, a Declaração de Limpeza de Área (DLA) (Mato Grosso, 2016). É importante observar as necessidades requeridas em cada Estado da Federação.

A limpeza manual é mais comum em áreas acidentadas de difícil mecanização, áreas pequenas ou, na maioria das vezes, combinada com outras práticas. Neste caso, são usadas ferramentas, tais como: facão, foice, machado, motosserra e fogo controlado (exceto nos períodos proibitivos). Neste último caso, deve-se obter a licença no órgão competente autorizando a queimada em área total ou das coivaras, seguindo os protocolos cautelares que a prática exige.

A limpeza mecanizada dependerá muito do tipo de vegetação, do tipo de solo, podendo ser utilizadas lâminas frontais empurradoras ou cortadoras, correntão (observar se há lei restringindo o uso na região do projeto florestal), rolo faca, sendo que o modelo da máquina dependerá da vegetação, das características locais e dos recursos disponíveis. O material lenhoso é amontado em leiras ou coivaras que, posteriormente, são queimadas, mediante autorização do órgão ambiental competente.

A limpeza química consiste no uso de herbicidas para eliminar a vegetação que, neste caso, é de menor porte, muito comum em áreas previamente utilizadas por pastagens. A aplicação, a depender do tamanho, da topografia, do tipo de vegetação presente na área e de recursos disponíveis, poderá ser manual, semimecanizada ou mecanizada. A aplicação aérea tem sido feita em empreendimentos maiores, o que requer maior cuidado, sobretudo quanto à deriva de herbicidas em áreas vizinhas. Por ser um produto químico, sua aplicação deve ser realizada de acordo com o receituário florestal, seguindo orientações técnicas e legais, a fim de evitar contaminação dos colaboradores e dos recursos naturais. Para isto, recomenda-se uma consulta prévia a um engenheiro florestal.

Na maioria das vezes, a limpeza da área é realizada de forma combinada, ou seja, utilizando-se a limpeza manual (catação de galhos e raízes expostas), mecanizada (retirada vegetação de maior porte) e química (eliminação da vegetação de menor porte e banco de sementes do solo). Em todos os tipos, havendo material lenhoso, este pode ser aproveitado como lenha ou similar, desde que autorizado pelo órgão competente. Além disso, recomenda-se observar a legislação ambiental, quanto às áreas de reserva legal e de preservação permanente, entre outras, para não infringir a respectiva legislação.

Espaçamento e arranjo espacial

A escolha do arranjo e do espaçamento inicial de plantio é uma etapa de grande relevância no planejamento de empreendimentos florestais. Sua escolha definirá o espaço de crescimento das árvores e influenciará nas taxas de crescimento e de produção, no regime de desbaste e de desrama, na forma do tronco e da copa, na sobrevivência das plantas, na idade de corte, nos custos e nos rendimentos operacionais das operações de implantação, de manutenção e de colheita e, também, na qualidade da madeira (Balloni; Simões, 1980; Passos et al., 2006; Paiva et al., 2011; Medeiros et al., 2017, 2018).

O espaçamento é caracterizado pela distância entre linhas de plantio e entre plantas na linha de plantio, que expressa a área disponível para o crescimento de cada indivíduo. Já o arranjo se caracteriza pela disposição ou ordenamento das árvores nas linhas e entrelinhas de plantio, podendo ser retangular, quadrado, hexagonal/triângulo equilátero, quincôncio e irregular.

Com uso de clones, programa de fertilização balanceado, aproveitamento da madeira do primeiro desbaste, escolha de local mais apropriado para plantio e definição de regime de

manejo apropriado, associado a um eficiente sistema de gestão florestal, algumas empresas têm adotado espaçamentos mais amplos para teca, tais como: 6 m x 4 m; 7 m x 4 m e 5 m x 5 m. Neste caso, há redução dos custos com a aquisição de mudas, com os insumos e com a realização de práticas silviculturais, como desramas e desbastes. Por outro lado, alguns silvicultores têm adotado espaçamentos mais adensados para teca, tal como 3,75 m x 3,75 m, dentre outras justificativas, para evitar grandes clareiras no caso de ocorrência de mortalidade.

Medeiros et al. (2017, 2018) avaliaram 12 espaçamentos (5 m x 1,5 m, 3,5 m x 2,2 m, 3,5 m x 2,4 m, 3,5 m x 2,6 m, 3,5 m x 2,8 m, 4 m x 3 m, 5 m x 3 m, 4 m x 4 m, 6 m x 3 m, 5 m x 4 m, 6 m x 4 m e 5 m x 5 m) em plantios seminais de teca, aos 78 meses de idade, no município de Água Boa, MT. Neste trabalho, os autores concluíram que: a) os espaçamentos influenciaram mais no crescimento em diâmetro quadrático médio, em área basal e em volume de madeira com casca e menos na altura total; b) a taxa de crescimento das árvores em plantios de teca foi maior nos espaçamentos mais adensados e a estagnação do crescimento e da produção de teca ocorreu mais cedo nos menores espaçamentos; c) a idade técnica de desbaste aumentou à medida em que se aumentou a área útil por planta; d) o ingresso das árvores nas sucessivas classes de diâmetro diminuiu com a idade, independente do espaçamento, sendo que nos maiores espaçamentos a diminuição foi menos acentuada; e) uma maior distância entre linhas de plantio não implicou necessariamente em maior idade técnica do primeiro desbaste, principalmente, quando a distância entre plantas se manteve. Resultados semelhantes também foram observados por Silva et al. (2016), quando avaliaram os espaçamentos 3 m x 2 m, 4 m x 2 m, 5 m x 2 m, 6 m x 2 m, 3 m x 2 m x 2 m, 4 m x 2 m x 2 m, 5 m x 2 m x 2 m e 6 m x 2 m x 2 m em povoamentos de teca, aos 192 meses de idade, em Cáceres, MT. Foi observado que, quanto menor a densidade de árvores, maior o diâmetro e que, quanto maior a densidade de árvores, maior é a área basal e, também, o volume com casca ha^{-1}.

Os sistemas de cultivo de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) exigem a adoção de espaçamentos mais amplos, assim como, também, poderá haver variação nos arranjos. Os estudos ainda são incipientes quanto a esta definição. De forma geral, tem-se observado que, na definição da largura entre renques ou linhas de plantio, tem sido considerada a conveniência e otimização das operações no cultivo da cultura a ser utilizada entre os renques. Assim, são considerados: a largura de implementos agrícolas, por exemplo: linhas de uma plantadeira, largura de uma roçadeira, distância alcançada pelos equipamentos durante a aplicação de produtos químicos, fertilizantes, dentre outros.

A distância entre renques, na fase de estabelecimento da teca, tem menos influência sobre a cultura consorciada quanto à competição. Contudo, a partir do terceiro ano e, de forma mais intensa nas idades seguintes, a competição será maior. Portanto, recomenda-se espaçamento entre renques de, no mínimo, 25 m. Já entre as plantas na linha de plantio, recomenda-se uma distância mínima de 3,5 m, em fila única de plantas, o que facilitará as operações de controle mecanizado da mato-competição.

A depender do espaçamento entre plantas na linha ou no renque, deve-se aplicar desbaste, cuja idade técnica de realização deve ser baseada no inventário de crescimento das árvores, tomado no sentido das linhas e das entrelinhas, pois a competição entre plantas pode levar à excentricidade de medula e à formação de fustes menos cilíndricos. Informações detalhadas sobre esse assunto são fornecidas em capítulo que trata dos sistemas de integração com teca, neste livro.

Preparo do solo

O preparo do solo compreende um conjunto de práticas que, quando aplicadas de forma correta, podem manter ou elevar os índices de produtividades florestal, reduzir a erosão e melhorar a relação custo/benefício dos recursos disponíveis (Gonçalves et al., 2000). De acordo com Paiva et al. (2011), o seu objetivo é melhorar as condições físicas, eliminar plantas indesejáveis, promover o armazenamento de água no solo, eliminar camadas compactadas, incorporar fertilizantes, corretivos e restos de cultura, além de facilitar as atividades silviculturais sequenciais.

Os métodos de preparo do solo para teca são basicamente o cultivo intensivo (convencional) e o cultivo mínimo (reduzido) e, a sua adoção dependerá do interesse do silvicultor, da topografia, da vegetação de cobertura, do solo (textura e compactação), dos maquinários e implementos disponíveis (subsolador, por exemplo), das condições climáticas, dentre outros.

O cultivo convencional se caracteriza pelo revolvimento das camadas superficiais do solo em área total e pela incorporação de resíduos vegetais, com uso de arados de disco, grade aradora, grade bedding, grade niveladora, entre outros, fazendo-se ainda a subsolagem, se necessária. Apesar do método facilitar as operações silviculturais e de manejo, promover mineralização da matéria orgânica e proporcionar maior crescimento inicial das plantas de teca se comparado ao cultivo mínimo, apresenta a desvantagem de expor o solo, reduzindo

sua umidade e a atividade biológica, além de facilitar a lixiviação de nutrientes, a erosão e o afloramento do banco de sementes do solo, caso não haja tratamento com herbicidas, dentre outros.

O cultivo mínimo se caracteriza pelo preparo localizado apenas na linha (subsolagem, escarificação) ou na cova de plantio. A profundidade da subsolagem ou da cova dependerá das características do solo, como textura e compactação e da área "estrondada" ou desestruturada. Gonçalves et al. (2000) apresentam inúmeras vantagens técnicas, econômicas e ecológicas do cultivo mínimo, tais como: redução da erosão, mantém ou melhora as características físicas do solo, reduz a infestação de plantas invasoras, menor intervenção operacional nas áreas de cultivo, mantém ou eleva a atividade biológica do solo, reduz as perdas de nutrientes do ecossistema, reduz custos de implantação e aumenta a eficiência operacional das atividades de campo. Apesar desses benefícios, pode ter como desvantagem a heterogeneidade do crescimento inicial dos povoamentos florestais e maiores dificuldades com a proteção e o manejo da floresta.

Na subsolagem, a depender da classe de solo, da textura, da compactação, da umidade, dentre outros fatores, sua efetividade pode ser comprometida. Em solos argilosos e com muita umidade (época chuvosa), é desaconselhável a subsolagem, de modo a evitar maior compactação, pouca desestruturação (filete estreito) e espelhamento nas laterais do sulco. Por outro lado, se o solo estiver muito seco, a subsolagem tende a formar blocos grandes de solo, criando bolsas de ar que dificultam o plantio e desgastam o equipamento (Paiva et al., 2011). Esses aspectos podem ser prejudiciais ao desenvolvimento das raízes e, consequentemente, das mudas de teca.

Os equipamentos ou implementos utilizados na implantação de plantios de teca dependem do grau de mecanização empregado, como: enxadão, cavadora, motocoveadora (áreas pequenas e inclinadas), coveador acoplado a um trator, escarificador e subsolador. No caso da subsolagem, além do rompimento de camadas compactadas ou de estruturação do solo, é realizada também a adição de fertilizante, geralmente fosfatados, de forma localizada no sulco e em maiores profundidades.

Em área experimental, plantas de teca, em cultivo convencional, na fase de estabelecimento, apresentaram maior crescimento e homogeneidade em relação àquelas no cultivo mínimo, com maior heterogeneidade do crescimento na fase inicial. Moretti et al. (2014) avaliaram o crescimento inicial da teca em solo preparado de forma intensiva e em cultivo mínimo (coveamento e escarificação na linha de plantio). Aos 12 meses de idade, a teca cultivada convencionalmente apresentou também maior crescimento em altura total (40%) e diâmetro

do coleto (30%), se comparada àquela do cultivo mínimo em covas e em escarificação, que apresentaram resultados semelhantes. Porém, neste mesmo experimento, aos 36 meses de idade, a diferença entre a altura total e o diâmetro do coleto das plantas de teca foi abaixo de 10% entre os tratamentos considerados, percentual que diminuiu nas idades mais avançadas.

A depender da análise de solo, haverá a necessidade de sua correção para diminuir a acidez e elevar a saturação de bases, já que a teca é muito sensível e exigente quanto aos fatores nutricionais (Matricardi, 1989). O controle preventivo de cupins e de formigas é necessário também no ato do preparo do terreno. Estes itens serão discutidos com mais detalhes em tópico específico deste capítulo.

Plantio e replantio

O plantio é uma atividade aparentemente simples, mas que requer muito cuidado e atenção. Para a sua efetividade, alguns fatores devem ser observados:

a) Planejamento e gestão eficiente do processo como um todo;

b) Boa sanidade das mudas;

c) Condições climáticas adequadas à teca;

d) Correção da acidez do solo;

e) Controle da mato-competição;

f) Limpeza e preparo do terreno;

g) Treinamento da equipe de plantio;

h) Tipo e qualidade no preparo do solo;

i) Seleção de material genético produtivo;

j) Irrigação ou molhamento no pós-plantio;

k) Época de plantio: período seco ou chuvoso;

l) Ausência de sintomas de deficiência nutricional;

m) Qualidade das atividades nas operações de plantio;

n) Uso de hidrogel no plantio, para retenção de umidade;

o) Disponibilidade de mudas em quantidade e qualidade;

p) Tipo de plantio mais adequado a cada caso (manual, semimecanizado ou mecanizado);

q) Fertilização adequada (adubação de base, arranque e de cobertura);

r) Controle preventivo e curativo de formigas, cupins e outras pragas;

s) Distância, tipo de expedição e transporte do viveiro à área de plantio;

t) Boa qualidade da atividade de abertura de covas, dependendo do tipo de plantio;

u) Alinhamento correto de linhas de plantio de acordo com o espaçamento e arranjo inicial definido no planejamento;

v) Padrão de qualidade das mudas, tais como: rusticidade, sistema radicular bem formado e sem enovelamento, torrão bem formado com raízes ativas, caule lignificado, 3-4 pares de folhas, sem injúrias ou danos mecânicos;

w) Qualidade na operação de plantio, evitando que as mudas fiquem: tombadas na cova, com afogamento de coleto, com torrão e raízes expostas, com bolsas de ar no solo no pós-plantio. O ideal é a construção de uma pequena bacia para retenção de água ao redor da muda (em áreas não sujeitas ao encharcamento), com leve compactação do solo no plantio, para dar firmeza à muda, entre outros.

Na prática, o plantio se inicia após concluir a limpeza do terreno, o preparo do solo e a demarcação dos talhões, das estradas, dos aceiros, dos pátios de estocagem e a definição da orientação de plantio.

As marcações das linhas de plantio ou de alinhamento devem ser feitas de acordo com o espaçamento previamente definido. No cultivo convencional ou em áreas não mecanizáveis, o alinhamento se dá por meio de balizas, geralmente três, a partir de uma poligonal de base previamente demarcada, que pode ser a margem de uma estrada. No cultivo mínimo, a subsolagem define o alinhamento entre as linhas de plantio, cuja orientação pode ser feita por gabaritos instalados na frente do trator (bigode), balizas de orientação e por sistema de posicionamento global (Global Positioning System - GPS).

Cabe destacar que a silvicultura de precisão tem evoluído e sido adotada em todas as atividades silviculturais. Alguns exemplos são: planejamento das atividades em escritório, georreferenciamento dos imóveis onde serão implantados os povoamentos, construção de modelos digitais de elevação, preparo do terreno e do solo, correção e fertilização, controle e prevenção de mato-competição, pragas (doenças e insetos), incêndios, plantio, replantio, desrama, desbaste, colheita e transporte, entre outras atividades (Maeda et al., 2014).

A orientação de plantio dependerá das condições do terreno e do talhonamento que, para as áreas planas com pouca ondulação, deve ser no sentido Leste-Oeste. Geralmente, a equipe de campo tem em mãos o mapa da área georreferenciada, contendo todas as informações necessárias.

Definido o alinhamento, segue-se com a marcação e a abertura de covas. A marcação das covas pode ser manual, com uso de um enxadão ou chucho. Em áreas pequenas ou não mecanizáveis, as covas poderão ser abertas com enxadão e cavadeira ou motocoveadora. A depender do tipo de plantio e de preparo de solo, a abertura de covas é desnecessária, como é o caso do plantio com matracas ou plantadoras manuais em áreas subsoladas ou em cultivo convencional.

O plantio mecanizado para teca ainda é incipiente, mas já existem plantadoras acopladas ao trator que fazem o sulcamento, o plantio das mudas e a distribuição de fertilizantes. Para a teca, o mais comum é o plantio manual, principalmente quando as mudas são produzidas em sacolas plásticas. No caso de mudas produzidas em tubetes, é utilizado o sistema de matracas, onde o operador traz consigo um tipo de caixa contendo as mudas.

Quanto à fertilização, de forma geral, a adubação de arranque ou de base consiste na adição de fertilizante fosfatado no ato da subsolagem e na imersão do sistema radicular das mudas de teca, antes do plantio, em solução de fosfato monoamônico (MAP) a 1,5%, em conjunto com produto cupinicida. O tempo de imersão dos torrões/raízes na referida solução é 30 s, deixando as mudas por um certo período em bancadas, para retirar o excesso de solução, a qual é reaproveitável.

A recomendação de adubação depende dos resultados da análise de solo, previamente realizada e do tipo de fertilizante a ser utilizado. Demais fertilizantes são adicionados no ato do plantio em covetas laterais ou ao redor da muda, distantes 15 cm destas. A adubação de cobertura, de acordo com Figueiredo e Sá (2015), é realizada entre o segundo e quarto ano após o plantio e deve contemplar, principalmente, nitrogênio, potássio, boro, zinco e cobre, em que a quantidade mínima deverá ser 25 kg ha^{-1} de nitrogênio, 25 kg ha^{-1} de potássio e 0,75 kg ha^{-1} de boro. Os autores ainda alertam que cálcio e magnésio podem restringir o desenvolvimento das plantas. Estes nutrientes, geralmente, são fornecidos pela calagem.

A época de plantio dependerá das condições climáticas da região, da possibilidade de irrigação e da aplicação de substâncias hidroretentoras, como o hidrogel. Tsukamoto Filho et al. (2010) observaram que o hidrogel assegura a sobrevivência satisfatória das mudas

de teca, independente das condições físicas do solo e que os intervalos de 5 dias (ideal) a 10 dias com irrigação são recomendados e que um intervalo superior a 15 dias prejudica o incremento em altura das mudas.

Em geral, o plantio é feito no início da estação chuvosa. Fora deste período e, ou quando houver veranicos no período chuvoso, recomenda-se irrigação ou molhamento, cuja forma de aplicação e a quantidade de regas dependerão dos recursos disponíveis, do clima, da umidade do solo, do tamanho da área, podendo ser manual (regadores), semimecanizada (mangueiras acopladas à carreta tanque ou ao caminhão pipa) ou, até mesmo, automatizada. Em média, são colocados 3 L planta^{-1} de água. Para efetividade desta operação, recomenda-se o conhecimento da dinâmica do excesso e do déficit hídrico do solo ao longo do ano, caracterizado como balanço hídrico (Thornthwaite; Mather, 1955).

O replantio é realizado de 15-40 dias após o plantio, caso a sobrevivência seja inferior a 95% e superior a 70%. Quando a sobrevivência for abaixo de 70%, deve-se fazer uma análise econômica e silvicultural da viabilidade do projeto, exceto em casos em que a mortalidade se deu de forma localizada (reboleiras). O silvicultor deve considerar que o replantio tardio pode levar à heterogeneidade no crescimento do povoamento. Em plantios com espaçamentos mais amplos, conforme citado, o replantio é realizado, se houver, 5% de mortalidade concentrada em reboleira. Caso contrário, se a mortalidade for aleatória e distribuída em todo o talhão, não se faz replantio.

Tratamentos silviculturais

Manejo da mato-competição

A teca é uma espécie muito sensível à mato-competição, especialmente na fase de implantação da cultura, caracterizada pelos dois primeiros anos. Neste período, a planta passa por um estresse no plantio e ainda não possui um sistema radicular bem desenvolvido, tornando-a incapaz de competir com as plantas daninhas (Domingos Júnior; Coelho, 2018).

Verificada esta característica, no planejamento das atividades, deve-se conhecer o histórico de uso e ocupação do solo, visto a sua importância na definição da técnica mais efetiva para controle da mato-competição (antes e após o plantio). Este conhecimento permite inferir sobre o potencial do banco de sementes de plantas daninhas presente no solo. Silva et al. (2018a) mencionam que um bom programa de manejo de plantas daninhas inclui

a constante vigilância da área de cultivo, identificando as espécies infestantes, evitando a sua introdução, por meio de métodos preventivos ou aplicando métodos curativos, de acordo com o programa de controle da mato-competição estabelecido.

Um aspecto importante, observado em área experimental com plantios clonais e seminais de teca no município de Figueirópolis d´Oeste, MT, foi o efeito do método de preparo de solo na infestação da mato-competição. No cultivo convencional, a infestação de plantas daninhas é mais intensa, bem como a diversidade de plantas, devido ao maior revolvimento do solo, que proporciona condições de germinação do banco de sementes, ao passo que, no cultivo mínimo, a infestação é menor, aos 30 dias após o plantio (Figura 4). Essa constatação corrobora com informações de Gonçalves et al. (2000).

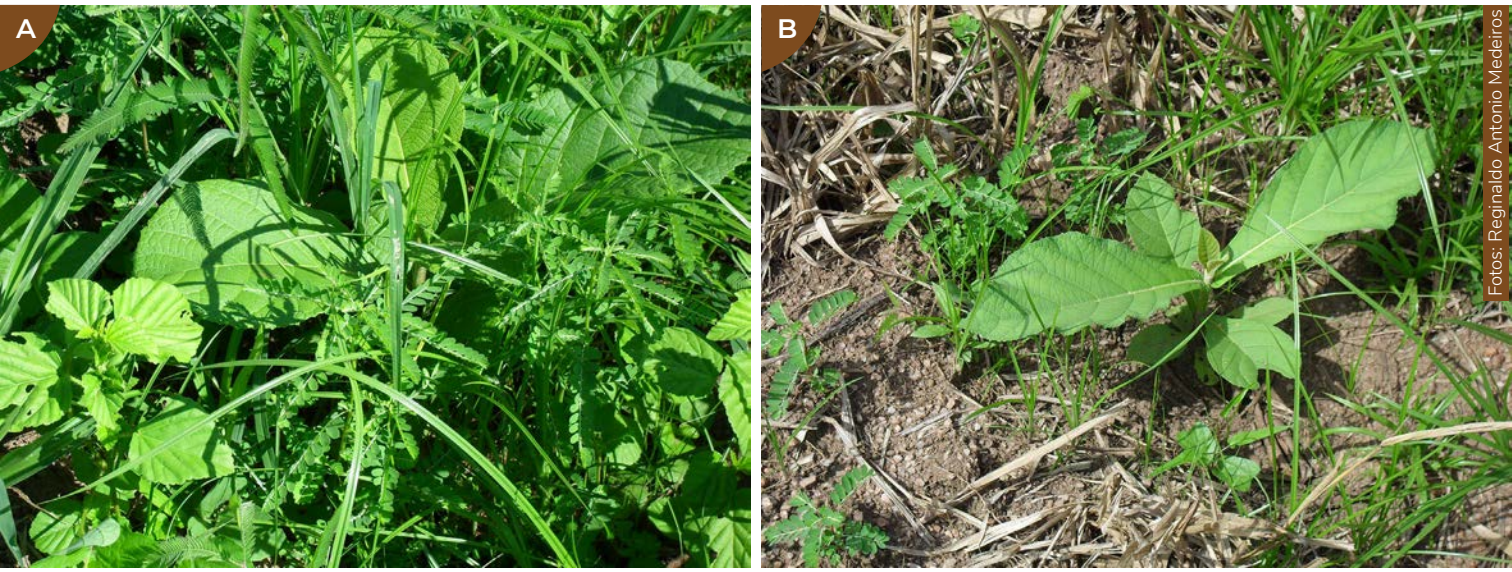


Figura 4. Mato-competição em plantios clonais e seminais de teca sob cultivo convencional (A) e minímo (B), aos 50 dias após o plantio.

Na fase de estabelecimento das plantações, se a planta daninha não for controlada poderá ocorrer significativo comprometimento do crescimento da teca, sobretudo, em áreas ocupadas previamente por pastagens, em especial, às forragens do gênero *Urochloa*, mesmo havendo dessecação da braquiária com herbicidas, pode haver infestação a partir do segundo ano de cultivo, já que as gramíneas competem muito com a teca por água e nutrientes (Figura 5). Domingos Júnior e Coelho (2018) observaram que plantas de teca, com 22 meses de idade, em competição com braquiária, tiveram seu crescimento em altura e diâmetro comprometidos, mesmo naqueles locais onde havia coroamento ao redor da planta, em um raio de 60 cm. Os autores recomendam que a teca se estabeleça sem a competição com plantas daninhas, em toda a área (linha e entrelinha).







Fotos: Reginaldo Antonio Medeiros

Figura 5. Reinfestação de *Urochloa brizantha* em plantios clonais e seminais de teca, aos dois e três anos de idade, sob cultivo minímo (A e B) e convencional (C), no município de Figueirópolis d'Oeste, MT.
Fonte: Caldeira et al. (2022) (Figura 5B).

Algumas etapas importantes no manejo integrado da mato-competição são citadas por Oliveira e Brighenti (2018):

a) Decidir quando o controle deve ser feito;

b) Estudar os métodos de controle usados na propriedade rural;

c) Identificar as espécies problemáticas e suas densidades;

d) Monitorar o banco de sementes e as espécies presentes na área de produção;

e) Conhecer as espécies daninhas dominantes e suas interações;

f) Considerar os recursos disponíveis e as necessidades da empresa;

g) Escolher uma tecnologia de controle compatível com o sistema;

h) Integrar os processos com as medidas de proteção das culturas;

i) Avaliar os impactos (ambiental, econômico e social) no longo prazo;

j) Prever as incidências de populações e mudanças de populações de plantas daninhas.

O manejo da mato-competição, de acordo com Carvalho (2013), se caracteriza por uma intervenção não-pontual estratégica, envolvendo um ou mais métodos de controle (manejo integrado), para reduzir o potencial de interferência da comunidade infestante no curto, médio e longo prazos. Existem diversos métodos de controle e sua escolha depende da disponibilidade: de mão de obra, de tecnologia, de equipamentos, do tamanho do povoamento florestal, do histórico de uso e de ocupação da área, dos métodos de preparo do solo, da população infestante, do grau de infestação, do período crítico de competição, das condições ambientais locais, de fatores econômicos, dentre outros. Os principais métodos que podem ser empregados no controle de mato-competição, segundo Oliveira e Brighenti (2018), são:

Controle cultural: Relaciona-se com a adoção de práticas de manejo que reduzam ou diminuam a competição, por exemplo, a adoção de espaçamentos iniciais mais adensados, uso de cobertura verde, cultivo integrado com outras culturas, tal como o sistema Taungya (Figura 6). Neste último caso, o cultivo de teca e de milho na fase de estabelecimento é uma alternativa interessante, sobretudo para pequenos produtores. O controle da mato-competição do componente agrícola é, de forma indireta, o controle para o componente florestal. Medeiros et al. (2015) observaram, em sistema Taungya com árvores clonais de teca, que a cultura do milho reduziu em 21% os custos totais de implantação e de manutenção em relação ao monocultivo, sobretudo, os custos relacionados ao controle da mato-competição.

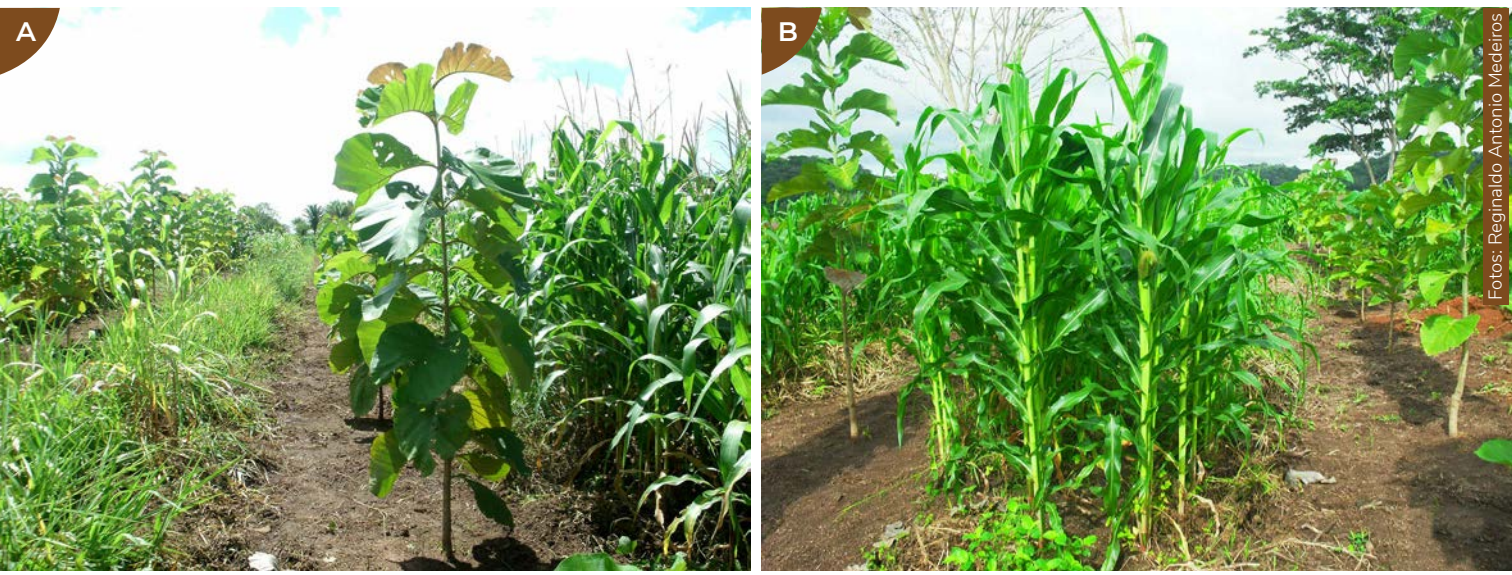


Figura 6. Sistema Taungya com teca e milho, em que as práticas de controle da mato-competição do milho são, ao mesmo tempo, aplicadas para a cultura da teca.

Controle mecânico: O controle mecânico é caracterizado por capinas ou coroamento das mudas após o plantio ou em totalidade na linha de plantio (Figura 7). Recomenda-se que a área isenta de plantas daninhas seja de, no mínimo, 1 m de raio ao redor da muda. Nas entrelinhas, geralmente, são feitas roçadas mecanizadas ou passagem do rolo faca. Neste último caso, deve-se ter cautela para não danificar o sistema radicular das plantas de teca, a partir do segundo ano de idade. Roçadas semimecanizadas, ou seja, com roçadeira costal, são também empregadas, principalmente, nas linhas de plantio. O uso de espaçamentos maiores entre plantas tem possibilitado um controle mais efetivo da mato-competição, já que permite roçadas mecanizadas nas linhas e entrelinhas.





Fotos: Reginaldo Antonio Medeiros

Figura 7. Capina na linha de plantio de teca, aos 30 dias e 12 meses após plantio.

Controle físico: O cultivo mínimo, conforme mencionado anteriormente, é também uma forma de controle da mato-competição, uma vez que a cobertura em decomposição na superfície do solo impede a germinação do banco de sementes, dada pela limitação de entrada de luz, além de servir como uma barreira física que impede o seu desenvolvimento ou, até mesmo, pela inibição por substâncias alelopáticas (Figura 8).



Foto: Reginaldo Antonio Medeiros

Figura 8. População infestante em área com preparo do solo convencional (acima) e mínimo (abaixo).

Técnicas como o flamejamento (aplicação de chamas ou uso do fogo) e a eletrocussão também são exemplos de controles físicos. A eletrocussão tem sido avaliada para controle da mato-competição em povoamentos de teca. A técnica consiste na aplicação de descargas elétricas sobre a população infestante, por meio do contato direto dos eletrodos, fazendo com que o conteúdo aquoso da planta alcance altas temperaturas e ocasione a sua morte devido ao rompimento das paredes celulares e à desnaturação de proteínas (Brighenti et al., 2018; Silva et al., 2018a). Contudo, a operação requer cuidado, pois pode trazer danos às árvores e, também, porque deteriora toda a matéria orgânica do solo.

Controle biológico: Caracterizado pelo uso de bio-herbicidas, ainda pouco difundido no meio florestal, mas eficiente no controle das plantas daninhas, além de reduzir os prejuízos ambientais provocados pelo uso contínuo de herbicidas sintéticos (Galon et al., 2016). O objetivo é a redução e a estabilização, ao longo do tempo, da população de plantas daninhas abaixo do nível de dano econômico (Silva et al., 2018a). Uma alternativa é o uso de animais em regime de integração pecuária-floresta, como estratégia de controle da mato-competição, tal como a criação de ovelhas e de bovinos (Figura 9). Neste caso, deve-se atentar para a idade e o porte dos animais, além da idade das árvores de teca, de forma que não ocorram danos às árvores jovens.



Figura 9. Criação de gado em regime de integração pecuária-floresta, para controle da mato-competição de braquiária em povoamentos de teca.
Fonte: Caldeira et al. (2022).

Controle químico: Consiste no uso de herbicidas com a finalidade de inibir o desenvolvimento ou provocar a morte da população infestante. Estes produtos químicos devem ser manuseados de forma correta, seguindo receituário florestal expedido por um técnico responsável, a fim de evitar sub ou superdosagem, poluição do meio ambiente, intoxicação do operador, dentre outros.

Conhecimentos sobre a fisiologia das plantas, os grupos aos quais pertencem os herbicidas e a tecnologia de aplicação são fundamentais para o sucesso do controle. Os herbicidas são classificados de acordo com a seletividade (seletivos e não seletivos), translocação (ação de contato e sistêmica) e época de aplicação (pré e pós-emergente) (Silva et al., 2018a).

Domingos Júnior e Coelho (2018) avaliaram diferentes métodos de controle de *Urochloa decumbens*: sem controle de plantas daninhas, controle químico contínuo, controle químico após seis meses de competição e controle com coroamento de 60 cm das mudas, sobre o crescimento de povoamentos de teca no município de Urutaí, GO. Após 22 meses de avaliação, o crescimento e a produção da teca foram comprometidos, sobretudo, nos seis primeiros meses de implantação. Foi necessária a eliminação total da braquiária para o garantir o bom desenvolvimento do povoamento. Neste trabalho, os autores utilizaram o herbicida Goal® BR, princípio ativo Oxifluorfem (4 L ha^{-1} ou 960 g i.a. ha^{-1}).

Para o uso de herbicida, deve-se atentar se o produto ou a fórmula química possui registro específico para a cultura da teca. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) do Brasil disponibiliza um sistema de consulta pública denominado Agrofit, o qual pode ser consultado no seguinte endereço: https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROFIT.html, composto por um banco de dados de todos os produtos agrotóxicos e afins registrados, com informações do Ministério da Saúde (Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa) e do Ministério do Meio Ambiente (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama). Deve-se também informar se o produto está cadastrado nos órgãos de defesa vegetal estadual, por exemplo, no Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (Indea) em Mato Grosso. Normalmente, os órgãos estaduais possuem no sistema de consulta a relação de defensivos cadastrados, semelhante ao disponibilizado pelo Mapa.

O herbicida mais utilizado para as florestas plantadas é o glifosato de pós-emergência, o que não seria diferente também para a teca. Entretanto, não há registro deste produto específico para esta cultura. Neste caso, deve-se utilizar o glifosato registrado como Agrotóxicos de Uso Não-Agrícola (NA), devendo sempre seguir orientações de um responsável técnico (engenheiro florestal) para a sua aplicação. Atualmente, não há herbicidas com registro específico para a cultura da teca, sendo este um dos desafios da cultura.

O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é obrigatório, independentemente da tecnologia e do produto aplicado. As informações devem ser indicadas no receituário florestal e no rótulo do produto. Entre os EPIs que devem ser utilizados, destacam-se: máscaras protetoras, óculos, luvas, chapéus de abas largas, botas e avental impermeáveis, macacão com mangas compridas e filtro solar. A NR 31 regulamenta o uso dos EPIs para a saúde e segurança do trabalhador rural e atribui responsabilidades ao empregador (Brasil, 2005).

Desbrota

Ao longo do primeiro ano após o plantio, são observadas emissões de brotações nos coletos das plantas, também chamadas de “broto-ladrão”, especialmente em mudas clonais de teca (Figura 10). Essas brotações devem ser eliminadas o mais precocemente possível, evitando-se a competição com a planta em si, já que estas brotações apresentam elevada taxa de crescimento. Para eliminar estas brotações pode ser utilizada uma faca pequena ou canivete afiados. Quanto mais jovem for a brotação, maior o rendimento das atividades. Caso haja demora para a eliminação do broto ladrão, este se lignifica e, neste caso, a sua retirada terá que ser realizada com uso de serrote de poda florestal.



Foto: Reginaldo Antonio Medeiros

Figura 10. Ramo ou "broto-ladrão" de teca em plantios clonais com 12 meses de idade, no município de Figueirópolis d'Oeste, MT.

Desrama

É uma técnica silvicultural que visa eliminar brotações ou ramos vivos, injuriados ou mortos, com a finalidade de produzir madeira livre de nós e, com isso, melhorar a sua qualidade e agregar valor comercial aos produtos e subprodutos. Além disso, evita a propagação de incêndios de copa, facilita operações de combate às formigas, de inventário florestal e permite a entrada de radiação solar até a superfície do solo, o que é desejável em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. É uma técnica muito utilizada e necessária para culturas florestais que apresentam maior rotação e cuja madeira é utilizada para serraria, como a teca.

A desrama pode ser natural ou artificial. Os galhos ou ramos laterais localizados na porção inferior do dossel naturalmente tendem a receber menos luz solar e acabam sendo suprimidos, levando-os à morte. No caso da teca, que apresenta galhos de maiores dimensões quando comparada com o eucalipto, quando estes morrem, caem e ficam pedaços fixos ao tronco. Além de causar formação de nó morto durante a oclusão, esses pedaços podem

hospedar doenças e insetos. Mas, quando não há morte dos ramos e galhos, estes podem causar a formação de nós vivos e isso influencia na organização dos elementos do lenho e, consequentemente, na qualidade da madeira. Por isso, a importância de se planejar um bom regime de desramas, especialmente nas fases iniciais de crescimento.

O regime de desramas a ser adotado dependerá do espaçamento e do arranjo espacial inicial, da idade, do material genético, da taxa de crescimento, das condições edafoclimáticas, do nível tecnológico utilizado, da época de aplicação e, também, da gestão das atividades e dos recursos disponíveis.

O silvicultor tem que planejar as atividades, pois a desrama em povoamentos de teca é uma atividade onerosa e demanda muita mão de obra, equipamentos apropriados e orientação técnica especializada na sua execução, sobretudo, quanto ao uso de EPIs e cuidados com a saúde dos colaboradores. Por isso, devem ser priorizadas as árvores que ficarão para o corte final. Contudo, o investimento nesta atividade é compensado pela boa aceitação do mercado consumidor e pelo valor agregado ao produto.

Quanto menor for o núcleo nodoso central, maior valor terá a madeira de teca. O núcleo nodoso é a região interna do fuste (cilindro central) que engloba os nós vivos e mortos que, com a idade, é envolto por outro cilindro decorrente do crescimento radial, porém livre de nós (clear wood) (Burger; Richter, 1991). Quanto mais fino e mais jovem for o galho ou ramo desramado, menor será a oclusão e o núcleo nodoso central (Polli et al., 2006).

Fatores que afetam a desrama

Um dos principais fatores que afeta a desrama é a densidade do povoamento, expressa pelo espaçamento e pelo arranjo inicial de plantio. Em espaçamentos mais adensados, há menos formação de ramos/galhos ao longo do tronco, devido à menor entrada de luz. Por outro lado, em espaçamentos mais amplos, há maior incidência de luz, o que estimula as gemas epicórmicas e, com isso, emitem brotações laterais mais intensas, o que requer um maior número de operações de desramas (Figueiredo; Sá, 2015; Medeiros, 2016).

Quanto ao melhoramento genético, silvicultores e pesquisadores acreditam que seria uma alternativa efetiva para minimizar o efeito da desrama na atividade silvicultural, em especial, quanto à escolha de genótipos com menor emissão de ramos laterais. Contudo, os programas de melhoramento genético da teca têm se voltado mais a identificar genótipos altamente produtivos, resistentes às doenças e insetos, com adaptação aos mais diferentes sítios. Genótipos mais produtivos apresentam maiores taxas de crescimento, assim como

povoamentos instalados em sítios mais produtivos e, por isso, a aplicação da desrama será mais precoce. Os sítios ruins são, geralmente, pouco responsivos às atividades de desrama.

Valério et al. (2018) aplicaram desramas trimestrais em plantios jovens clonais e seminais de teca, no município de Figueirópolis d'Oeste, MT, sendo janeiro (estação chuvosa), abril (fim da estação chuvosa), julho (estação seca) e outubro (início da estação chuvosa) e avaliaram o número e o padrão das brotações, a cada trimestre, nos diferentes materiais genéticos, nos três primeiros anos de implantação da cultura. Os autores observaram um padrão similar no surgimento de brotações nos plantios de teca, tanto clonais quanto seminais, o que indica que este padrão independe do material de origem (Figura 11). Porém, observaram que o material de origem influenciou no número de brotações, uma vez que a teca de origem clonal apresentou maior número de brotos do que a teca de origem seminal.

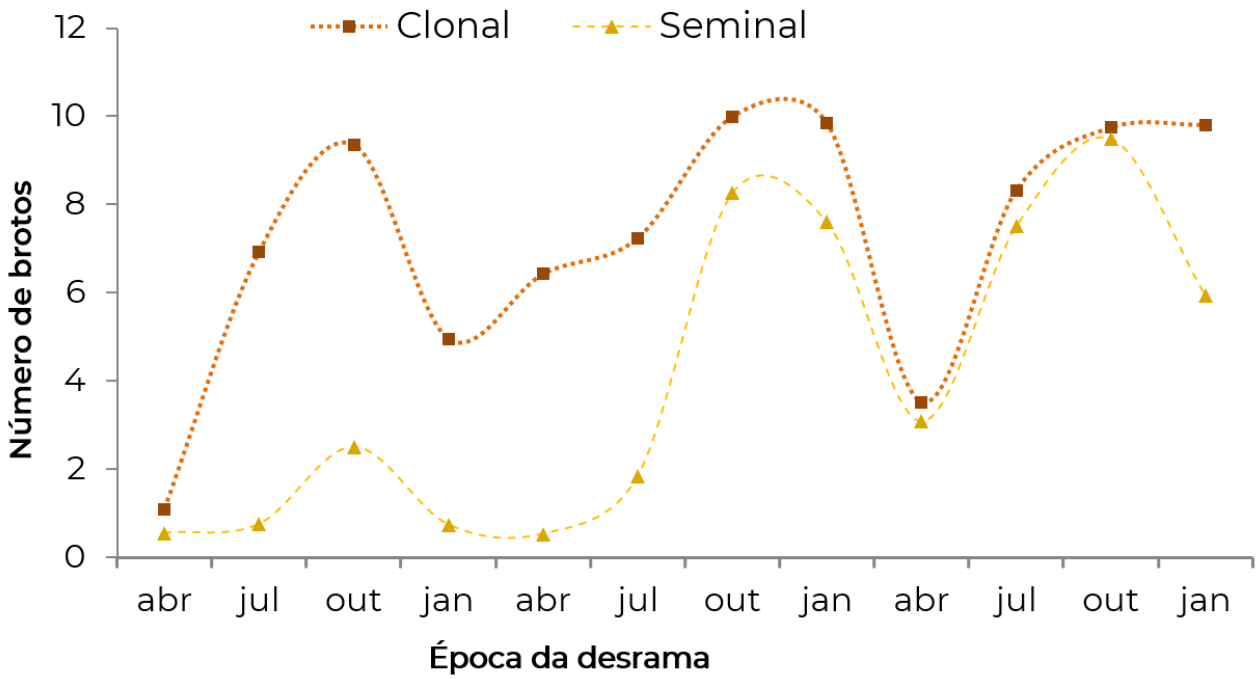


Figura 11. Variação no número de brotações, em função da época de desrama, para plantios jovens de teca de origem clonal e origem seminal, no município de Figueirópolis d'Oeste, MT.
Fonte: Valério et al. (2018).

Estes mesmos autores verificaram também diferenças significativas entre todos os períodos, independentemente do material de origem. Neste mesmo aspecto, destaca-se que abril foi o mês com o menor número de novas brotações, para os dois tipos de materiais avaliados.

O fato de o mês de abril apresentar menor número de brotações permite inferir que janeiro (período anterior de desrama) é o período mais indicado para realização desta atividade.

A aplicação da desrama em janeiro ocorre no meio do período chuvoso, enquanto abril corresponde ao início do período seco na região de estudo. Desta forma, com a desrama em janeiro, a tendência observada é que a reposição de brotos ocorrerá de forma mais lenta, o que pode resultar em redução de custos para a próxima desrama e minimizar a ocorrência de defeitos que podem diminuir a qualidade da madeira. Oliveira et al. (2020) encontraram resultados semelhantes quando avaliaram a influência da época e do número de desrama em plantios jovens de teca sob sistema silvipastoril. De acordo com os autores, o mês de fevereiro seria o mais indicado para efetuar a desrama, seja pelo menor número de brotações, seja pelo efeito positivo sobre o crescimento inicial em diâmetro, altura e qualidade do fuste. Por outro lado, a desrama em período chuvoso pode levar a um maior contágio de doenças e insetos.

De acordo com a Cáceres Florestal (2006), a menor quantidade de brotações no período chuvoso pode estar relacionada com a ocorrência de floração e de frutificação, onde o balanço hormonal favorece esta fase fenológica, inclusive, as auxinas seriam direcionadas em maior quantidade à região da copa e, em menor quantidade, ao tronco.

Paiva e Leite (2015) comentam que a época adequada para a realização de desramas em povoamentos de eucaliptos seria no inverno e início da primavera, período com menor circulação de seiva na planta, a casca está mais aderida ao tronco, reduzindo risco de danos às árvores. Contudo, informações empíricas de alguns silvicultores indicam que a desrama nesta época proporciona a formação de “caroços” no fuste, sobretudo na teca de origem seminal, influenciando de modo negativo na qualidade da madeira.

Quando possível, recomenda-se que a desrama seja realizada após a aplicação do desbaste, pois há a possibilidade de remover os galhos danificados durante a atividade do desbaste, além de diminuir custos. Em contrapartida, as árvores desbastadas obviamente não serão desramadas.

A situação do ramo, vivo ou morto, também interfere na desrama, sobretudo, quanto à cicatrização e à oclusão da base dos ramos podados. Quando o ramo está vivo, este processo é mais rápido e os tecidos de cicatrização já estão em posição para formar um calo, com anéis de crescimento voltados para fora e de forma contínua à madeira (Hawley; Smith, 1972). Além disso, desrama de galhos mortos torna a atividade mais difícil de ser realizada.

Quanto ao regime de desrama, trabalhos e experiências apontam vários indicadores para a aplicação em teca, tais como a idade (Víquez; Pérez, 2005; Pelissari et al., 2014b) e a altura total das árvores (Vieira et al., 2010). No primeiro caso, as desramas são realizadas a partir do segundo ano, limitando-se à retirada de galhos a um terço da altura total da árvore;

no terceiro ano, metade; no quarto ano, dois terços e, até 7 m de altura, nas idades futuras. No segundo caso, em países da América Central, tem sido recomendada a primeira desrama quando o povoamento atinge uma altura total de 4-5 m, desramando-se a uma altura de 2-3 m. A segunda poda é efetuada quando a altura total atinge 9-10 m, com desrama de 4-5 m de altura. A próxima desrama ocorre quando o povoamento atingir 12 m de altura total, removendo-se ramos e galhos a uma altura de 7 m.

Quando a desrama é realizada acima desta altura, pode tornar a atividade inviável economicamente e com elevados riscos de acidentes aos colaboradores. Deve-se considerar que as desramas em idades mais avançadas devem ser concentradas naqueles melhores indivíduos que não serão desbastados e destinados à rotação final. Ainda, ressalta-se que a desrama e o desbaste devem ser programados de maneira concomitante, a fim de identificar as árvores que serão submetidas a estes tratamentos silviculturais.

O efeito do grau ou do peso de desrama é muito controverso, embora alguns trabalhos tenham indicado que desramas severas (75% da copa viva) podem interferir no crescimento da teca (Vieira et al., 2010). Budiadi e Ishii (2017) comentam que, após três anos de sua aplicação, o efeito da desrama com retirada de um terço, metade e dois terços da copa em plantios de teca se tornaram não significativos. De forma geral, não é recomendada a realização de desrama em mais de 50% da copa viva das árvores, sem prejuízo ao crescimento em altura, em diâmetro, em área basal e em volume de madeira (Paiva; Leite, 2015).

Seitz (1995) comenta que a desrama drástica, com grande percentagem de eliminação da copa viva, causa desequilíbrio no balanço de absorção de água pelas raízes e na necessidade de água pelas folhas. Este desequilíbrio, somado à maior quantidade de luz solar incidente no tronco desramado, estimula a emissão de brotações em gemas até então dormentes na casca do tronco (gemas epicórmicas), o que na teca é muito comum de ocorrer.

Como diversos fatores influenciam nesta atividade, o ideal é que o crescimento do povoamento, a idade e o diâmetro dos galhos sejam observados conjuntamente. Uma característica importante da espécie é que ela não apresenta um padrão na emissão de galhos ao longo da altura, como ocorre em espécies do gênero *Eucalyptus*, por exemplo. Neste gênero, o diâmetro do galho tende a diminuir ao longo da altura da árvore, ao passo que na teca este padrão é mais aleatório, especialmente em plantios seminais. Reis et al. (2014) comentam que o predomínio de galhos grossos na porção mediana ou superior da copa pode impor dificuldade na aplicação da desrama, exigindo maior esforço e habilidade do operador para a sua remoção.

De acordo com informações de alguns silvicultores, regimes de desramas diferentes daqueles já citados têm sido adotados em algumas plantações, tais como a retirada de ramos jovens ou até mesmo de brotos, por mais de uma vez, ao longo do ano. Informações preliminares indicam maior rendimento das operações, embora haja maior deslocamento da equipe, mas menores riscos de acidentes, melhoria na qualidade da madeira, além da atividade ser menos cansativa e, por consequência, com maior rendimento operacional. A lógica é evitar a formação de galhos grossos que oneram o trabalho e causam mais injúrias nas plantas. Técnica semelhante tem sido empregada por pequenos silvicultores na Ásia, principalmente, pela falta de mão de obra e pela facilidade na remoção de ramos jovens e mais finos (Pachas et al., 2019).

O padrão de qualidade na realização da desrama é essencial e exige preparo físico e treinamento da equipe, supervisão técnica, equipamentos apropriados e com manutenção em dia, especialmente quando a desrama é realizada em povoamentos com idades mais avançadas, o que requer a realização da desrama em maiores alturas da árvore. Paiva e Leite (2015) destacam que a qualidade é definida pelos cortes bem-posicionados e executados de forma correta, sendo que os seguintes fatores contribuem para uma desrama de pior qualidade:

a) Galhos muito grossos;

b) Cansaço físico e falta de treinamento da equipe;

c) Falta de manutenção e equipamentos de desramas defeituosos;

d) Cortes malfeitos devido ao posicionamento incorreto do operador;

e) Presença de tocos residuais, quando o corte é feito distante do tronco;

f) Presenças de lascas de galhos que quebraram antes da conclusão do corte e embiras da casca na queda do galho derramado;

g) Presença de lesões na crista (porção superior da inserção do tronco no ramo) e no colar (porção inferior da inserção do ramo no tronco).

Conforme abordado, o adequado treinamento da equipe e o uso de EPIs são essenciais. Profissionais da área de segurança do trabalho têm recomendado que, durante a prática da desrama, os colaboradores trabalhem por um período de 45-50 min, seguidos de 10-15 min de descanso, com alongamento, hidratação, avaliação e manutenção das ferramentas, ao longo de uma jornada de 8 h diárias, tanto para desrama utilizando serrote de poda com cabos extensores quanto ao uso de motopodas. No caso do uso de motopodas,

cuidado adicional deve ser tomado devido ao ruído, vibração, fumaça, serragem oriunda do corte, peso do equipamento, dentre outros. No caso do ruído, é fundamental o uso de protetor auricular. Moraes (2013) avaliaram o ruído em atividades de desramas nas microrregiões de Caparaó, ES e Centro Sul, ES e observaram que os níveis de ruído variaram de 95,6-103,8 dB. Portanto, acima daquele limite estabelecido na NR-15, que é de 85 dB, o que ressalta a importância de uso do equipamento de proteção auricular.

Outro fator importante é a desinfestação dos equipamentos, para evitar proliferação de doenças, como a murcha da teca causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* (Oliveira, 2020). Contudo, alguns silvicultores comentam que esta atividade é muito onerosa e trabalhosa na prática, o que pode inviabilizar a atividade, mas, que medidas de controle preventivo devem ser tomadas.

Quanto às ferramentas utilizadas, dependerá do estágio de crescimento da planta. Na desbrota e na primeira desrama, tem-se utilizado o serrote ou tesoura de poda. Nas desramas subsequentes, o serrote de poda é utilizado, porém, adaptado a cabos extensores de alumínio, cujos comprimentos variam entre 2-6 m, dependendo da altura desramada. Pode ser também utilizado o podador de galho motorizado, com motor dois tempos (motopoda), que apresenta maior rendimento nas operações e melhor qualidade do corte, mas implicando em um maior custo de aquisição e manutenção, maior risco de acidente e à saúde dos colaboradores. Há informações de que empresas que cultivam a teca e fabricantes de equipamentos têm se mobilizado para fabricação de equipamentos mais adaptados, inclusive tendo a energia fotovoltaica oriunda de placas solares, como fonte de energia.

Uma orientação importante é não utilizar ferramentas de impacto na desrama, como foice e facão, pois podem causar rachadura, permanência de toco do galho ou ramos (cabide), causar injúria na casca e no lenho, dificultar a cicatrização e favorecer a formação de nós mortos, além da lesão propiciar maior infestação de patógenos e de insetos.

Desbaste

O desbaste é uma prática silvicultural que consiste na remoção intencional de algumas árvores do povoamento florestal, a fim de evitar a mortalidade natural dos indivíduos por competição entre plantas e potencializar o desenvolvimento de árvores remanescentes com maior vigor produtivo e econômico. É considerada a principal prática no manejo intensivo dos povoamentos de teca, permitindo ganhos na qualidade da madeira e, também,

na produção dos fustes adequados, quando associado à adequada prática da desrama (Kollert; Kleine, 2017). De maneira geral, para as árvores de teca destinadas ao corte final, o objetivo é produzir árvores que tenham entre 45-50 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) (Ugalde Arias, 2013).

O desbaste pode ser do tipo sistemático, seletivo e misto (sistemático + seletivo). A opção por qual tipo de desbaste a ser adotado depende de alguns fatores, dentre eles:

a) Idade do povoamento;

b) Arranjo e espaçamento inicial de plantio;

c) Tipo do material genético: clonal ou seminal;

d) Sistema de colheita florestal: mecanizado, semimecanizado ou manual.

Em quase a totalidade dos casos, no primeiro desbaste de teca, é incluso o componente sistemático, em que são removidas, por exemplo, uma linha de árvores a cada cinco linhas ou uma linha a cada três linhas, sendo que o restante das árvores a ser removido, caso haja previsão no planejamento, pode ser realizado pelo método seletivo ao longo das linhas que restaram. A forma de como sistematizar o desbaste é planejada conforme os equipamentos de colheita e suas dimensões: harvester, feller-buncher ou motosserra para o abate, forwarder ou skidder para a retirada das toras. No método seletivo, são abatidas as árvores doentes, quebradas danificadas por injúrias mecânicas, com fustes tortuosos e, também, àquelas de menores diâmetros. Em geral, opta-se pelo sistemático no primeiro desbaste, visto que o povoamento ainda não apresenta variação significativa na sua estrutura diamétrica, e, portanto, não se justifica a aplicação do desbaste seletivo e, ou misto.

De maneira empírica, o momento (idade) do primeiro desbaste coincide com o momento de fechamento das copas, ou seja, quando as copas se tocam. Este evento indica o início do estágio de competição entre as árvores do povoamento. Budiadi e Ishii (2017) observaram que, para plantios clonais de teca estabelecidos em Java (Indonésia), no espaçamento de 6 m x 2 m, esta idade de fechamento das copas ocorre próxima aos três anos de idade, ou seja, na prática, este seria o momento ideal para a realização do primeiro desbaste no povoamento.

Porém, técnica e cientificamente, existem métodos de definição de momentos ideais de desbastes. Dentre eles, o mais difundido na ciência florestal é o Índice de Reineke (Reineke, 1933). Em síntese, o método consiste na modelagem da relação alométrica existente entre o diâmetro médio e a densidade do povoamento (expressa em número de fustes por hectare). Ao fixar este diâmetro como sendo o desejável, tal como aquele do trabalho original

(25,4 cm) e conhecendo o potencial produtivo do local, é possível realizar as recomendações de desbastes ao povoamento, prevendo produções volumétricas de madeira nestes determinados períodos. O produto final deste método é um diagrama de manejo da densidade populacional que permite, dentre as recomendações supracitadas, informar sobre níveis de competição em determinada idade do povoamento florestal (Madi et al., 2020).

A Figura 12 exemplifica a estrutura do povoamento florestal após a remoção de 25%, 50% e 75% do número de indivíduos.

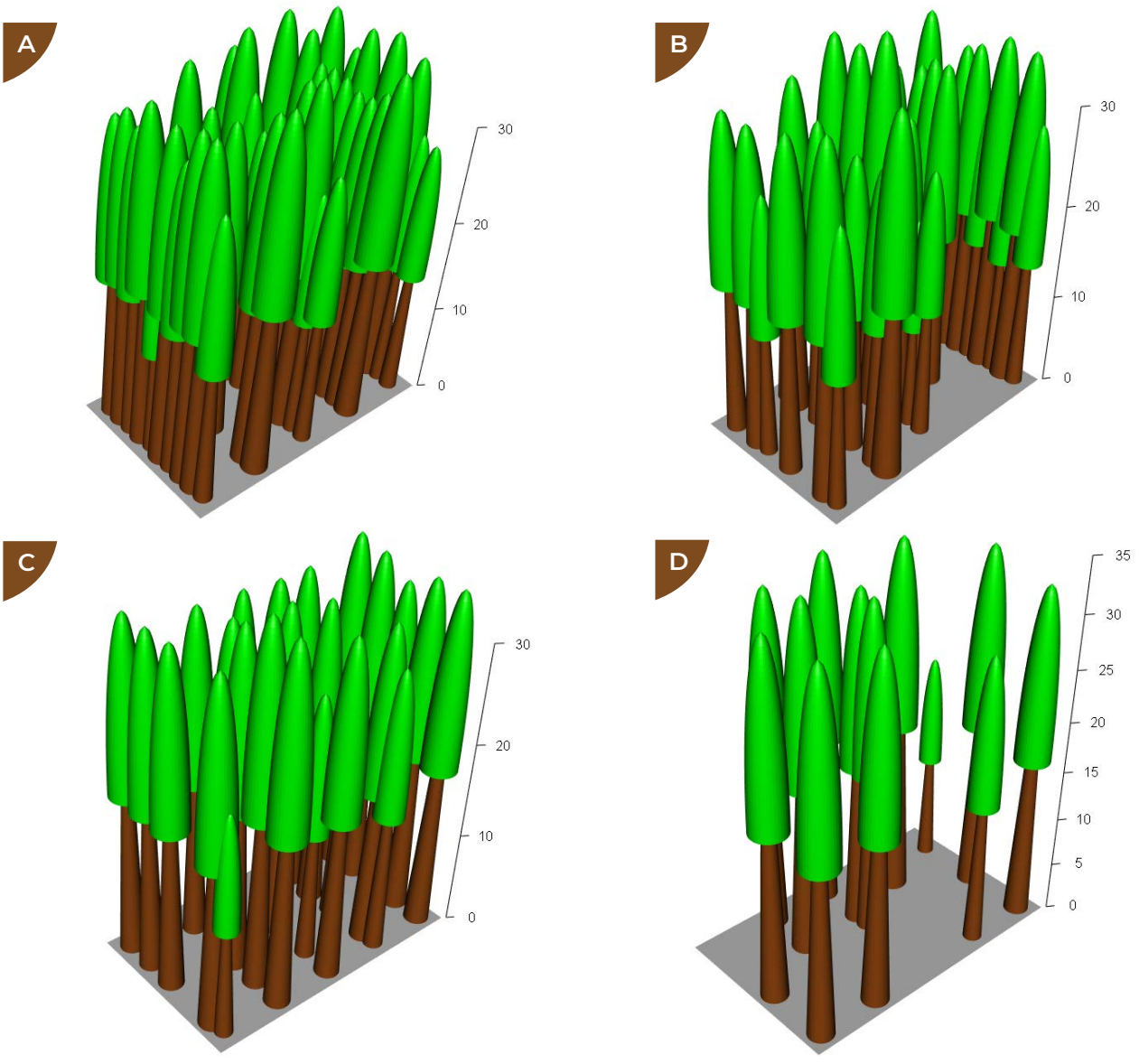


Figura 12. Visualização tridimensional de uma simulação de desbaste sistemático, com remoção de 25% (B), 50% (C) e 75% (D) do número de árvores em um arranjo de 6 m x 1,5 m (A).
Crédito: Samuel de Pádua Chaves e Carvalho.
Figura desenvolvida por meio do pacote rLiDAR do software R (Silva et al., 2018b).

Muitos são os estudos já realizados com esta temática na ciência florestal. Além dos tipos de desbastes já mencionados anteriormente, estes são também classificados em: por cima, por baixo e neutro. Os desbastes por cima removem árvores das maiores classes de dimensões. Em contrapartida, os desbastes por baixo removem árvores das classes de menores dimensões. Já os desbastes neutros removem árvores de todas as classes de tamanho, de maneira proporcional.

O desbaste por baixo é o tipo mais usual nos povoamentos de teca no Brasil, cujo objetivo é a geração de maior valor para as árvores do corte final. O desbaste por cima ocorre, geralmente, quando há a necessidade de gerar maior fluxo de caixa para a manutenção do povoamento antes do corte final. Entretanto, tal prática compromete o resultado e a rentabilidade do corte final.

Na literatura são comuns investigações científicas acerca do tema, que sugerem recomendações de desbastes considerando alguma variável intrínseca ao povoamento florestal. Budiadi e Ishii (2017), ao avaliar diferentes intensidades de desbastes: 0%, 25% e 50% de remoção no número total de árvores em plantios clonais de teca, em Java, Indonésia, concluíram que desbastes mais pesados são os mais indicados, pois garantem altas taxas de crescimento ao longo da rotação. Ladrach (2009) sugere ainda que, para plantações clonais de teca, dois desbastes são suficientes e o momento de realização do desbaste está melhor associado à altura média do povoamento, quando comparado à sua idade. Por exemplo, realizar o primeiro desbaste quando as árvores atingirem 3 m e o segundo e o último desbastes quando estas árvores atingirem entre 10-12 m. Este porte de árvores, de maneira geral, acontece entre o terceiro e o sétimo ano, respectivamente.

Ugalde Arias (2013) reúne, em seu livro, uma ampla revisão sobre o tema desbaste, com expertises de diversos pesquisadores de diferentes países. Por exemplo, no Equador, a sugestão é de um sistema de desbaste com densidade inicial de plantio de 1.100 árvores ha^{-1}, em um arranjo regular de 3 m x 3 m, em que as intervenções são realizadas sempre que o povoamento atingir uma área basal de 25 m^2, até que se atinja uma densidade de 120-180 árvores ha^{-1}. Na Costa Rica, observou-se que a prática do desbaste aumentou consideravelmente as taxas de crescimento dos povoamentos de teca, quando estes são pesados, ou seja, com remoção entre 15-17 m^2 ha^{-1} da área basal. Sugere-se ainda que o primeiro desbaste seja realizado quando os povoamentos de teca atingirem uma idade próxima a seis anos, com uma área basal próxima de 21 m^2 ha^{-1} e que seja removido algo em torno de 6 m^2 ha^{-1}.

Por fim, a operação do desbaste consiste na remoção de determinadas árvores em um dado povoamento. As árvores são inicialmente demarcadas e, após essa etapa, removidas. A operacionalização do desbaste é realizada por motosserras e, ou por algum trator florestal, por exemplo, o harvester de menor porte (Figura 13).

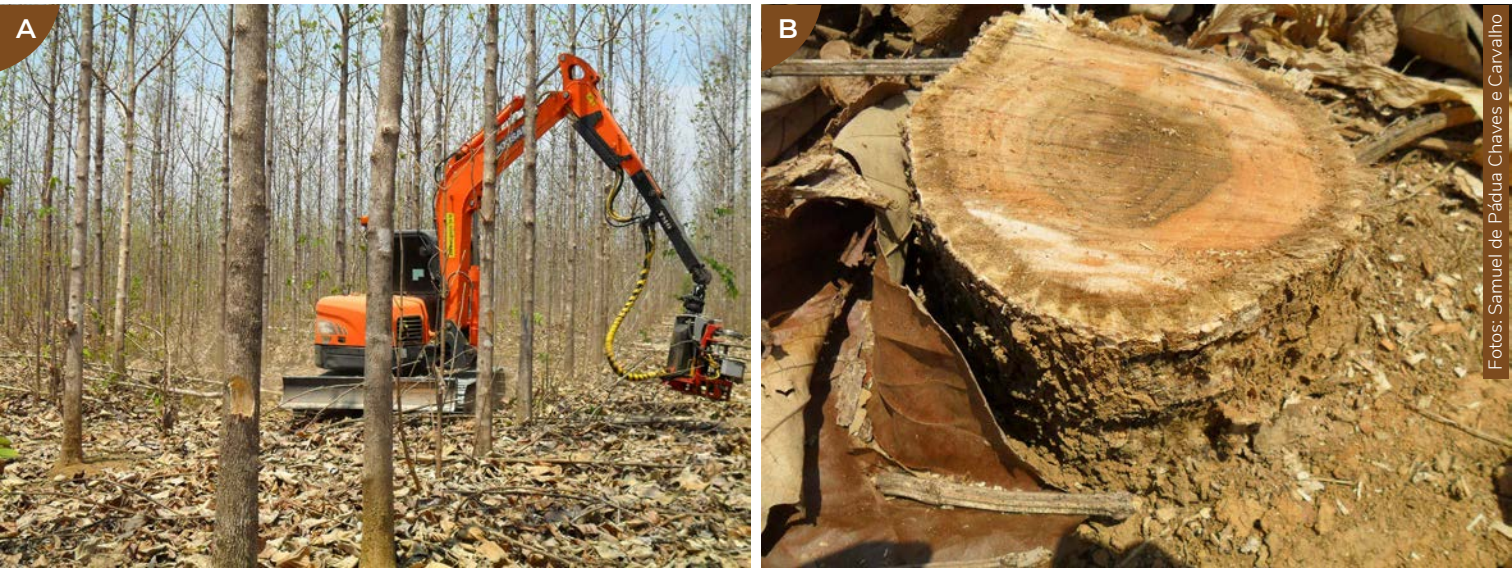


Figura 13. Operação mecanizada de desbaste em povoamentos de teca com harvester de menor porte (A) e detalhe do toco após operação mecanizada (B).

Controle de brotações pós-desbaste

Após o desbaste da teca, caso não haja algum método de controle nos tocos das árvores desbastadas, pode haver uma grande emissão de brotações vigorosas e de crescimento acelerado. Isto ocorre devido à elevada relação raiz/parte aérea, em que os assimilados são alocados, preferencialmente, para a formação da parte aérea (Reis; Reis, 1997). O sistema radicular já desenvolvido favorece a absorção de água e de nutrientes, competindo com as plantas remanescentes pelos mesmos fatores (Barros et al., 2017).

A intensidade da brotação está relacionada com a densidade do povoamento após o desbaste, com o genótipo e com o grau de exposição do toco à incidência de luz solar e à umidade. Em espaçamentos mais adensados, a emissão de brotações decresce com a idade devido à competição, ao passo que, em espaçamentos mais amplos, a emissão de brotações tende à uniformidade. A época de aplicação do desbaste também influencia o resultado obtido, sobretudo, quando realizado no início estação chuvosa. Em área experimental com povoamentos clonais e seminais de teca, no município de Figueirópolis d´Oeste, MT,

verificou-se que plantas clonais emitem mais brotações pós-desbaste se comparadas com às seminais, ao passo que estas últimas apresentam menor taxa de crescimento.

As brotações têm se tornado um problema no manejo silvicultural dos povoamentos de teca, visto que há um número reduzido de herbicidas certificados para o controle das brotações, que são reconhecidos e autorizados por empresas de certificação florestal. Além disso, esse fato dificulta a realização de práticas silviculturais (Caldeira; Castro, 2012).

Entre os métodos de controle das brotações, os químicos têm sido os mais eficientes, especialmente quando aplicados imediatamente após o abate das árvores. Caldeira e Castro (2012) avaliaram a eficácia da aplicação, isolada ou combinada, de diferentes concentrações dos herbicidas picloram e triclopyr, associados ou não à aplicação de danos físicos, no controle de brotações, em um povoamento desbastado de teca com quatro anos de idade. Os autores observaram que estes tratamentos foram eficientes no controle das brotações em tocos de teca. Eles observaram ainda que o controle das brotações, logo após o desbaste, é mais eficiente do que quando realizado no ano seguinte.

Cuidados devem ser tomados quanto ao controle químico, tanto no uso de produtos e de dosagens adequadas, quanto ao uso de EPIs. Há registros de toxidez em plantas remanescentes de espécies florestais, causados pelo efeito residual do produto aplicado.

Quanto aos métodos mecânicos, tais como: roçada, corte com enxada, foice, entre outros, esses não reduzem as emissões de novas brotações sucessivas. Com base em observações empíricas, a operação se torna mais difícil e onerosa a partir da segunda desbrota, pois ocorre formação de calos de cicatrização no toco e na base de ramos desbrotados anteriormente, o que dificulta a operação.

Controle preventivo e curativo de pragas em teca

A aplicação de práticas de manejo integrado de pragas (MIP) é essencial para a correta condução do povoamento florestal, objetivando o controle de insetos de importância econômica (Zanetti et al., 2014). Do ponto de vista do MIP, quando um inseto se alimenta de uma planta de teca, ocorre uma injúria na planta. A depender do grau e da severidade da injúria, a planta perde em produção de madeira, que pode ser quantificada em termos de perdas monetárias, recebendo o nome de dano econômico (Pedigo, 1991). Quando esse dano se torna significativo, diz-se que esse inseto atingiu o status de praga. Como qualquer espécie vegetal, a teca também está sujeita ao ataque de insetos, sendo que a quantidade de insetos-praga que utilizam a teca

como fonte alimentar é inúmera e várias espécies ainda são desconhecidas. Porém, aquelas com potencial de causar dano econômico são denominadas pragas-chave.

De acordo com Pedigo (1991), os insetos são basicamente classificados em quatro tipos: os não-pragas, os secundários, os primários e os severos, sendo os dois últimos os mais importantes (pragas-chave) e merecem atenção por parte do manejador florestal. Uma vez tomada a decisão de adotar medidas de controle, será necessário fazer a opção por métodos de redução populacional de insetos. Dentre os métodos de controle químico, ainda são poucos os inseticidas oficialmente autorizados para o setor florestal, sendo que, para a cultura da teca, apenas quatro insetos-pragas têm registros autorizados pelo Mapa (Brasil, 2019). Assim, deve-se ter um bom conhecimento de todas as técnicas de controle e escolher as mais adequadas, levando-se em consideração os fatores: técnicos (eficiência agronômica do produto, tecnologia de aplicação, dentre outros), econômicos (custo de combate), ecológicos (impactos ambientais) e humanos (toxicidade e perigo durante a aplicação) (Zanetti et al., 2004). Uma análise prévia do histórico da área com relação ao clima, à ocorrência de pragas, aos resultados de combate, entre outros, possibilitará uma previsão dos problemas que deverão ser enfrentados. As pragas-chave da cultura da teca que exigem o seu controle preventivo e, ou curativo, de maneira operacional, são as formigas cortadeiras, os cupins subterrâneos e os percevejos sugadores (Tabela 3 e Figura 14).

Tabela 3. Insetos de importância econômica (pragas-chave) da cultura da teca.

Ordem / Família taxonômica	Espécie	Nome comum	Estágio de suscetibilidade da cultura
Blattodea/ Termitidae	*Syntermes molestus*	Cupim-de-montículo	Plantio até os seis meses.
Hemiptera/ Pentatomidae	*Edessa meditabunda*	Percevejo-da-soja	Plantio até os dois anos.
	Euschistus hero	Percevejo-marrom	
	Nezara viridula	Percevejo-verde	
	Piezodorus guildinii	Percevejo-verde-pequeno-da-soja	
Hymenoptera/ Formicidae	*Acromyrmex subterraneus*	Quenquém	Viveiro /Todo o desenvolvimento em campo
	Atta laevigata	Saúva-cabeça-de-vidro	
	Atta sexdens	Saúva-limão	

Cupim subterrâneo

Os cupins subterrâneos do gênero *Syntermes* se destacam como insetos-praga de mudas recém-plantadas no campo e são ainda mais importantes em áreas anteriormente ocupadas por pastagens, as quais são mais propícias ao desenvolvimento de grandes populações de cupins (Forti; Andrade, 1995). A espécie *Syntermes molestus* (*Blattodea*, *Termitidae*) (Burmeister, 1839) é a mais importante em povoamentos com teca (Peres Filho et al., 2006). Os ninhos deste gênero de cupins são variáveis e complexos, podendo se apresentar completamente subterrâneos, subterrâneos com terra solta na superfície do solo e montículos compactos sobre o solo (Constantino, 1995).

Esse gênero de cupim possui o comportamento de danificar as raízes e o coleto de plantas novas até os seis meses, causando morte das mudas, o que pode onerar consideravelmente o custo de replantio (Wilcken et al., 2002). Operacionalmente, realiza-se o controle preventivo contra esses cupins em plantios de teca por meio da imersão das raízes até a altura do coleto das mudas em calda inseticida à base do ingrediente ativo fipronil (fenilpirazol) (Brasil, 2019). Após esse procedimento, as mudas devem ser imediatamente plantadas no campo e permanecerão protegidas por uma barreira química de alto poder residual (Santos et al., 2016), durante o período de maior susceptibilidade da cultura (Figura 14). Maiores detalhes vide o capítulo sobre entomofauna associada à teca.

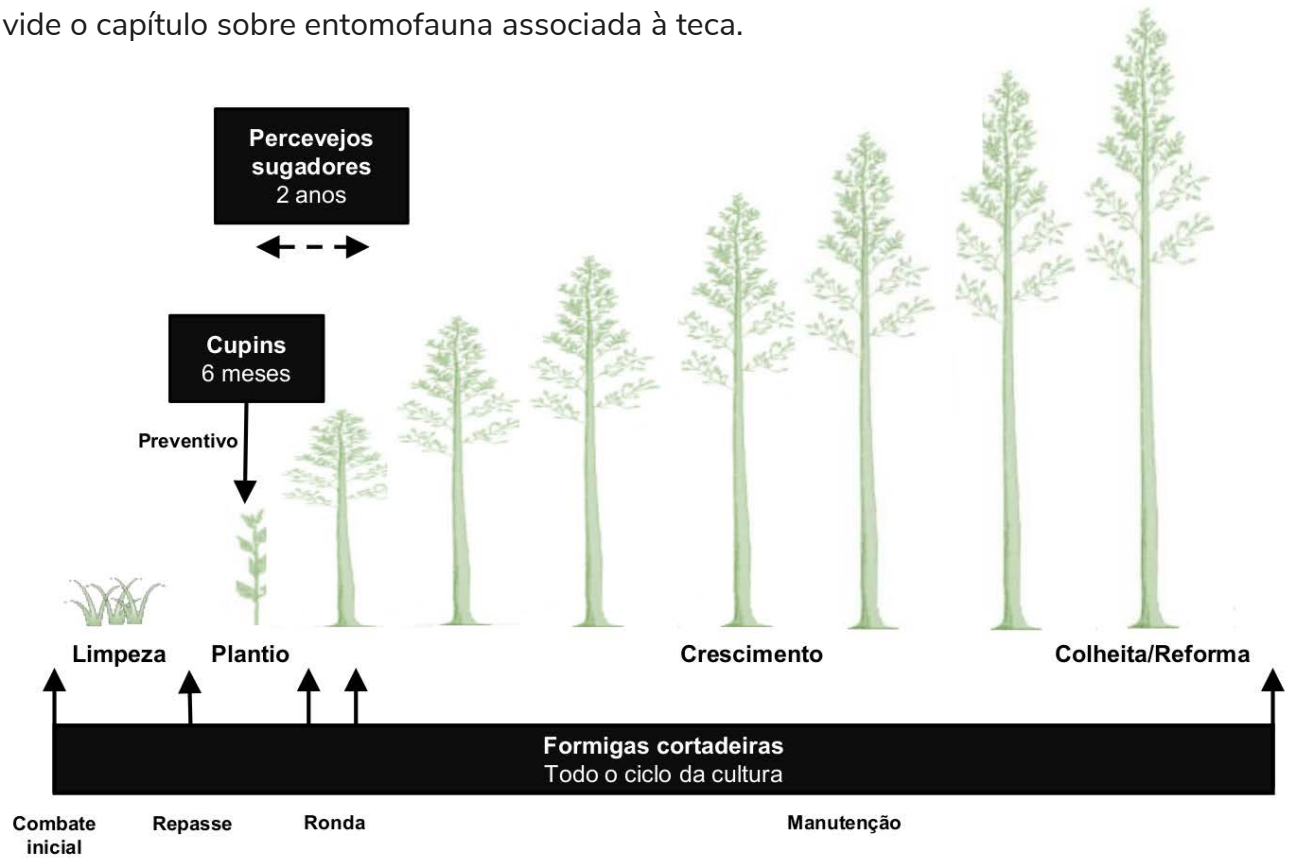


Figura 14. Planejamento temporal das operações de monitoramento e controle de insetos de importância econômica (pragas-chave) e período de maior suscetibilidade em áreas de plantios de teca.
Crédito: Alexandre dos Santos.

Formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras atacam a teca desde a fase de viveiro até a colheita de madeira, ou seja, em qualquer fase de desenvolvimento do plantio, promovendo um intenso corte das folhas, podendo causar a desfolha parcial e, ou completa da planta (Peres Filho et al., 2006) (Figura 15A). A espécie *Atta sexdens* Forel, 1908 (Hymenoptera, Formicidae), conhecida como saúva-limão é a mais importante em povoamentos de teca (Peres Filho; Lunz, 2016) e tem ocorrência registrada em todos os estados do Brasil (Della Lucia, 2011). A espécie *Atta laevigata* F. Smith, 1858 (Hymenoptera, Formicidae), chamada popularmente de saúva cabeça-de-vidro, ocorre nos estados brasileiros de Alagoas, Amazônia, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia, Roraima e São Paulo (Della Lucia, 2011). Outra espécie de formiga cortadeira que causa danos aos plantios de teca é *Acromyrmex subterraneus* Forel, 1893 (Hymenoptera, Formicidae), sendo conhecida pelos nomes de quenquém-de-cisco ou quenquém-preta, tendo a sua ocorrência nos estados de Amazônia, Ceará, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (Della Lucia, 2011).

O controle de formigas cortadeiras é realizado antes do plantio e, também, em todas as fases de desenvolvimento da cultura (Figura 14), sendo a isca formicida, com os ingredientes ativos fipronil (fenilpirazol) ou sulfluramida (sulfonamida fluoroalifática), o método mais utilizado operacionalmente no seu controle (Peres Filho et al., 2006). O combate às formigas cortadeiras deve ser realizado em três etapas na fase de implantação e, ou reforma e uma etapa na fase de manutenção, sendo divididas em: controle inicial, repasse, ronda e manutenção (Zanetti et al., 2014). O controle inicial é realizado entre 45-60 dias antes da limpeza da área para o plantio ou antes da colheita. A etapa de repasse é realizada entre 45-60 dias antes do plantio e consiste na revisão do controle inicial para matar os formigueiros que sobreviveram ao combate na primeira etapa. A ronda consiste no controle de todos os formigueiros encontrados em vistorias semanais no primeiro mês após o plantio, quinzenais durante os dois meses seguintes e mensais por mais quatros meses. A última etapa é o controle durante a fase de manutenção, onde os combates são realizados uma ou duas vezes ao ano, geralmente, nos meses mais secos (Zanetti et al., 2014).

Percevejos sugadores

Os povoamentos de teca podem ser infestados por vários tipos de insetos sugadores de seiva, como os percevejos: *Edessa meditabunda* (Fabr., 1794), *Euschistus hero* (Fabr., 1794), *Nezara viridula* (L., 1758) e *Piezodorus guildii* (Westwood, 1837) (Hemiptera, Pentatomidae).

Normalmente, esses organismos se encontram associados à cultura da soja, mas podem causar perdas econômicas significativas à cultura da teca entre o plantio até a idade de dois anos (Peres Filho et al., 2006). Apesar desses insetos serem normalmente encontrados na cultura da soja, tem-se que, após o período de colheita dessa leguminosa, os percevejos podem se alimentar de diversos outros hospedeiros alternativos (Ribeiro et al., 2016) e, com a proximidade entre essas duas culturas, um aumento na frequência da ocorrência desses percevejos na cultura da teca tem sido observado.

Esses percevejos, durante a sucção da seiva, normalmente, realizada na parte apical da planta, injetam enzimas que promovem a dissolução do corpo proteico das células vegetais (Depieri; Panizzi, 2011), o que ocasiona a morte do broto apical (Figura 15B) e, dependendo da infestação, pode evoluir para uma seca total das plantas (Costa et al., 2020). Até o presente momento, não existe produto registrado para o controle químico de percevejos em teca e o controle biológico com uso de inimigos naturais tem sido recomendado (Peres Filho et al., 2006).



Figura 15. Desfolha severa promovida por formigas cortadeiras (A) e morte do broto apical por percevejos sugadores (B) em áreas de plantios de teca.

Monitoramento e controle das principais doenças da teca

O monitoramento com vistas à detecção de doenças é essencial para a implementação, de forma efetiva e racional, das estratégias de controle das principais doenças da cultura da teca. Existem várias maneiras para a realização do monitoramento, desde as inspeções rotineiras de campo pelas equipes operacionais ao uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS) e imagens de satélites. Embora o uso de imagens venha se tornando cada vez mais frequente, ainda é uma tecnologia incipiente na área de patologia florestal, mas com grande potencial para aplicação prática em breve (Mafia; Alfenas, 2016).

Na prática, o monitoramento em plantios de teca tem sido realizado pelas equipes de campo, que percorrem periodicamente as áreas de plantios e, quando uma doença ou qualquer outra anormalidade é detectada, realiza-se uma breve descrição dos sintomas observados e o registro fotográfico da anormalidade. Para a determinação do padrão de disseminação da doença é necessário um levantamento mais rigoroso. Mas, em geral, realiza-se o caminhamento em cruz (Figura 16A) para doenças radiculares ou de tronco, tais como a podridão radicular de kretzschmaria e a murcha-de-ceratocystis e, tratando-se de uma doença de parte aérea como a ferrugem, realiza-se o caminhamento em zigue-zague (Figura 16B).

No caso das doenças mais conhecidas, um profissional bem treinado é capaz de identificar o agente causal pela observação dos sintomas e, ou dos sinais da doença. Mas, nem sempre o diagnóstico de uma doença pode ser feito in loco. Neste caso, é necessário coletar amostras da planta e enviá-las a um laboratório especializado para análises fitopatológicas. Quando se trata de doenças novas ou pouco conhecidas, torna-se necessário realizar uma série de testes laboratoriais e seguir os postulados de Koch para comprovação da etiologia da doença.

Concomitantemente ao monitoramento, é importante fazer o registro e o acompanhamento das condições meteorológicas para se estabelecer correlações entre as ocorrências das doenças e as condições ambientais favoráveis. Esses dados podem ser utilizados para gerar informações importantes para o manejo florestal, incluindo análise de risco de incêndios e, também, para sistemas de alerta e de aviso para insetos e doenças (Alfenas et al., 2009).

Para o controle das principais doenças da teca, o plantio de genótipos resistentes é o método mais indicado, tendo em vista o longo período de rotação da cultura e a inexistência de produtos químicos registrados. O controle biológico tem mostrado ser eficiente em experimentos de campo, mas ainda necessita de estudos de longo prazo para que seja comprovada a sua eficiência. Maiores detalhes acerca do assunto estão descritos no capítulo específico das principais doenças de teca deste livro.

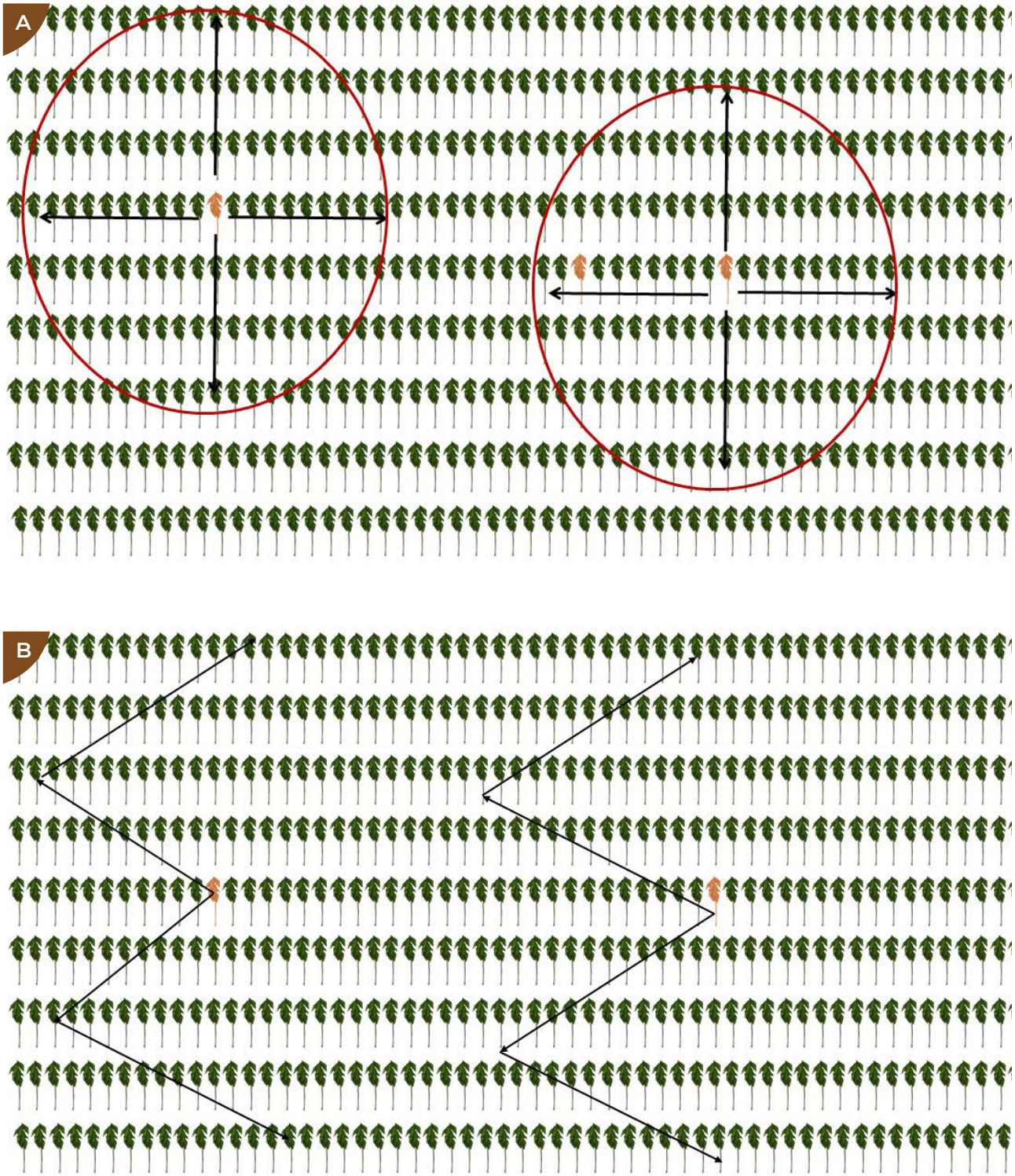


Figura 16. Esquemas de caminhamentos para monitoramento de doenças de campo, sendo caminhamento em cruz (A) e em zigue-zague (B).
Crédito: Rafael Ferreira Alfenas

Gestão da implantação florestal

A tomada de decisão sobre como conduzir cada etapa do manejo silvicultural de modo a garantir o sucesso na produção da madeira de teca (desde a implantação, manejo, corte final e comercialização das toras de forma sustentável) deve ter como base um planejamento composto por: a) definição de metas, objetivos e métodos a adotar; b) controle das atividades e recursos aplicados; c) monitoramento do crescimento da floresta e d) adoção de medidas corretivas quando necessárias, mitigando e reduzindo os riscos. Assim é a gestão florestal, uma ferramenta importante e imprescindível para se obter o resultado esperado com o cultivo da teca, pois se trata de uma atividade cujos investimentos são significativos em seu início e os resultados são considerados de médio a longo prazo.

A gestão florestal passa pela necessidade de gerir informações, organizando e analisando todos os dados sobre o povoamento florestal e seu negócio. Abaixo uma lista dos principais dados e informações que o produtor deve manter para uma boa gestão florestal:

a) Dados cadastrais do povoamento (data de plantio, área plantada, material genético, espaçamento, informações sobre o solo, uso anterior da área, dentre outros);

b) Dados e informações espaciais, mapas indicando e posicionando áreas de plantio, de reserva legal, área de preservação permanente, estradas, benfeitorias, dentre outras;

c) Registro dos fatores de produção e histórico de todas as atividades realizadas, como por exemplo tipo de atividade, data realizada, horas homem^{-1}, horas máquinas^{-1}, insumos e outros fatores de produção utilizados desde o preparo da área, implantação, manejo e corte final;

d) Monitoramento do crescimento e do estoque de madeira mediante inventário florestal;

e) Dados e informações sobre o mercado de toras/madeira de teca.

Os registros do histórico de atividades e dos fatores de produção utilizados subsidiam a análise e a avaliação do cronograma físico-financeiro das atividades planejadas. Além disso, permitem acompanhar e calcular todo o custo ao longo da rotação do cultivo da teca.

O monitoramento do crescimento produz indicadores chaves: altura dominante, área basal, incremento diamétrico e volumétrico. Esses indicadores são importantes nas tomadas de decisões dos momentos corretos para as realizações: do desbaste, da

desrama, do corte final, além de gerar estimativas da produção volumétrica esperada em cada intervenção, cuja estimativa de receita esperada poderá ser calculada em função das informações de mercado disponíveis.

Não se tem dados oficiais e frequentes sobre o mercado de toras de teca no Brasil. De forma geral, toras de menores dimensões são comercializadas no mercado doméstico como lenha para geração de energia e toras para serraria na produção de blocos e tábuas. Já as toras de maiores dimensões são exportadas e alguma referência de preços de toras de teca pode ser obtida no Report: Tropical Timber Market da ITTO. Cabe aqui ressaltar o fato de o mercado de exportação de toras de teca utilizar o cálculo do volume pelo método Hoppus, gerando cerca de 77% do volume do método Smalian, comumente praticado no Brasil.

Considerações finais

O cultivo da teca pode ser considerado como um dos agentes mais promissores para o abastecimento de madeiras tropicais no Brasil e no mundo, especialmente para o grupo de espécies com características de média à alta densidade, durabilidade e trabalhabilidade. É também um dos principais agentes promotores da redução da pressão de consumo sobre as florestas tropicais naturais e de redução de CO_2 da atmosfera.

Dentre os aspectos abordados neste texto, destacam-se aqueles relacionados desde a escolha da área para o cultivo da espécie à sua gestão. O sucesso de um empreendimento florestal se inicia com um planejamento efetivo de todas as ações necessárias ao projeto, o que requer também uma gestão efetiva das atividades ao longo de toda a rotação, já que a teca é uma espécie muito exigente e responsiva às condições de cultivo e manejo.

A efetividade do planejamento e da gestão das operações nas etapas de implantação do povoamento (escolha e preparo da área e do solo, escolha do genótipo, definição de espaçamentos, fertilização, plantio, replantio e controle fitossanitário) e naquelas de condução e manejo (controle da mato-competição, desrama, desbaste, prevenção e controle de incêndios, pragas e doenças) serão responsáveis pela produtividade do povoamento dentro do esperado para a cultura.

Considera-se também de grande relevância o assessoramento por profissionais com formação qualificada para a garantia dos aspectos relacionados à silvicultura da espécie.

Referências

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 500 p.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**: Série Técnica, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BARROS, K. L. C.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N. Capacidade de brotação de teca sob regime de talhadia composta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. e00134315, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.134315.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ato nº 86, de 9 de dezembro de 2019. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, s. 1, p. 6, 10 dez. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Norma regulamentadora nº 31, de 3 de março de 2005. Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, exploração florestal e aquicultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 mar. 2005.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. de; COUTINHO FILHO, S. de A. Controle de plantas daninhas por roçada articulada e eletrocussão. In: OLIVEIRA, M. F. DE; BRIGHENTI, A. M. (ed.). **Controle de plantas daninhas**: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 34-51. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193269/1/Controle-plantas-daninhas.pdf. Acesso: 28 jul. 2021.

BUDIADI; W.; ISHII, H. Response of a clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 1, p. 44-53, 2017.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. **Anatomia da madeira**. São Paulo, SP: Nobel, 1991. 154 p.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres, 2006. 32 p.
Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

CALDEIRA, S. F.; CASTRO, C. K. da C. Herbicidas e danos físicos em tocos de teca para controle de brotos após o desbaste. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1826-1832, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001000017.

CALDEIRA, S. F.; MEDEIROS, R. A; SOARES, A. A. V. Práticas silviculturais. In: TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. (ed.). **Teca**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2022. p. 129-170.

CAMINO, R. de; MORALES, J. P. (ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2013. 392 p. (CATIE. Serie técnica. Informe técnico, 397).

CARVALHO, L. B. **Plantas daninhas**. Lages, 2013. 92 p.

CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* Linn. F. até a idade de rotação**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

CONSTANTINO, R. Revision of the neotropical genus *Syntermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae). **The University of Kansas Science Bulletin**, v. 55, n. 13, p. 455-518, 1995.

COSTA, J. G.; FIALHO-JUNIOR, L. L.; SANTOS, I. C. L.; ZANETTI, R.; SANTOS, A. First report of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) damaging teak trees (*Tectona grandis*) in the neotropics. **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 46, n. 2, p. 1-4, 2020. DOI: https://doi.org/10.25100/socolen.v46i2.8489

DELLA LUCIA, T. M. C. **Formigas-cortadeiras**: da biologia ao manejo. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2011. 421 p.

DEPIERI, R. A.; PANIZZI, A. R Duration of feeding and superficial and in-depth damage to soybean seed by selected species of stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 197-203, 2011. DOI: 10.1590/S1519-566X2011000200007.

DOMINGOS JÚNIOR, F. A.; COELHO, L. Effect of brachiaria grass on vegetative development of teak. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 1-6, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.012615.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Diagnóstico de florestas plantadas do estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), 2013. 106 p.

FAO. Food and Agriculture of United Nations. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. **The state of the world's forest genetic**. Rome: FAO, 2014. 304 p. Disponível em: http://www.fao.org/3/i3825e/i3825e.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

FIGUEIREDO, E. O.; SÁ, C. P. de. **Silvicultura e manejo de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2015. (Embrapa Acre. Documentos, 138). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142552/1/25987.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

FORTI, L. C.; ANDRADE, M. L. Populações de cupins. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, L. R. (ed.). **Biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 29-51.

GALON, L.; MOSSI, A. J.; JUNIOR, F. W. R.; REIK, G. G.; TREICHEL, H.; FORTE, C. T. Manejo biológico de plantas daninhas: breve revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 116-125, 2016. DOI: https://doi.org/10.7824/rbh.v15i1.452.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. DE M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura practica**. Barcelona: Omega, 1972. 544 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019 = Report 2019**. Brasília, DF, 2019. 79 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* L. f.): its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 19, p. 55-74, 1989.

KEOGH, R. M. **The care and management of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations**: practical field guide for foresters in the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Dublin: Irish Freedom from Hunger Campaign, Heredia; Costa Rica: The National University, 1987. 48 p.

KEOGH, R. M. **The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector FAO**. Rome, Italy: FAO, 2009. 47 p.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

LADRACH, W. **Management of teak plantations for solid wood products**. Orlando, Florida: ISTF News, 2009. 25 p.

LAMPRECHT, H. **SSilvicultura nos trópicos:** ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

MADI, J. P. S.; CALEGARIO, N.; MORA, R.; CARVALHO, M. P. de L. C. e.; CARVALHO, S. P. C. Density management in clonal *Tectona grandis* Linn. f. plantations. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-10, 2020. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.25.

MAEDA, S.; AHRENS, S.; CHIARELLO, S. do R.; OLIVEIRA, E. B.; STOLLE, L. FOWLER, J. A. P.; BOGNOLA, I. A. Silvicultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 467-477. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113993/1/Agricultura-de-precisao-2014.pdf. Acesso em: 28 jul. 2021.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C. Preparações e obtenções microscópicas de espécimes fúngicos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.) **Métodos em fitopatologia**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2016, p. 207-224.

MATO GROSSO. Secretaria do Meio ambiente. Instrução Normativa nº 12, de 12 de fevereiro de 2016. Regulamenta os procedimentos administrativos a serem observados na Secretaria de Estado de Meio Ambiente, para a realização de limpeza de áreas em imóveis rurais localizados no Estado de Mato Grosso. **Diário Oficial [do] Estado de Mato Grosso**, Cuiabá, n. 26.716, 12 dez. 2016.

MATO GROSSO. Secretaria do Meio Ambiente. Decreto nº 1.025, de 29 de julho de 2021. Regulamenta os artigos 62 e 62-B da Lei Complementar Estadual nº 38, de 21 de novembro de 1995, que dispõe sobre o Código Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de Mato Grosso**, Cuiabá n. 28.053, 30 jul. 2021.

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

MEDEIROS, R. A.; ARRIEL, D. A. A.; CALDEIRA, S. F. Escolha do local de plantio e do genótipo. In: TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. (ed.). **Teca**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2022. p. 28-51.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; D'ÁVILA, F. S.; LEITE, H. G. Growth and yield of teak stands at different spacing. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1109-1118, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001000004.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, F. T. Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* L. f. em sistema Taungya. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 893-903, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500012.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; SALLES, T. T.; JUNIOR, C. A. A.; D'AVILA, F. S. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 705-716, 2017. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v45n116.11.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; MARCATTI, G. E. ***Tectona grandis*: zoneamento ecológico para o cultivo no Estado de Mato Grosso, Brasil**. Beau Bassim: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 84 p.

MEDEIROS, R. A. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no Estado de Mato Grosso**. 2016. 198 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAES, F. de. **Avaliação da iluminância, conforto térmico e ruído na implantação e manutenção florestal nas microrregiões Caparaó e Centro Sul-ES**. 2013. 31 f. Monografia de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito, Jerônimo Monteiro.

OLIVEIRA, C. A. da C. **Identificação de genótipos de teca resistentes à murcha de ceratocystis**. 2020. 47 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres.

OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 198 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193269/1/Controle-plantas-daninhas.pdf. Acesso: 28 jul. 2021.

OLIVEIRA, P. P. G. de; ACOSTA, H. A. B.; MARIA, L. S.; CARVALHO, M. A. C. de. Influência da época e do número de desrama sobre o desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f. no sistema silvipastoril. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 39-45, 2020. DOI: https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.39-45.

PACHAS, A. N. A.; SAKANPHET, S.; MIDGLEY, S.; DIETERS, M. Teak (*Tectona grandis*) silviculture and research: applications for smallholders in Lao PDR. **Australian Forestry**, v. 82, n. 1, p. 94-105, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1610215.

PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto**: implantação e manejo. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011. 351 p.

PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de eucalyptus. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 83-112.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JÚNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L. f., em Cáceres – MT, Brasil: resultados preliminares. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006. DOI: https://doi.org/10.5902/198050981901

PEDIGO, L. P. **Entomology and pest managemen**t. New York: Maxwell Macmillan Publishing, 1991. 646 p.

PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 127–145, 2014.

PERES FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. A. **Entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L.f. no estado de Mato Grosso**. Piracicaba: IPEF, 2006. 58 p.

PERES FILHO, O.; LUNZ, A. M. Pragas florestais: teca. In: SILVA, N. M.; ADAIME, R.; ZUCCHI, R. A. (ed.). **Pragas agrícolas e florestais na Amazônia. Brasília**, DF: Embrapa, 2016. 608 p.

POLLI, H. Q.; REIS, G. G. dos.; REIS, M. G. F.; VITAL, B. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; FONTAN, I. C. I. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 557–566, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400008.

RANCE, B. W.; MAPANDA, W.; BEDIJO, N. G.; SSALI, F. **Teak silviculture guidelines**. Uganda, 2013. 16 p.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 627-638, 1933.

REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.

REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; LEITE, H. G.; MONTE, M. A. Desrama artificial e desbaste para produção de madeira serrada. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. (ed.) **Eucaliptocultura no Brasil**: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa, MG: SIF/DEF/UFV, 2014. p. 283-301.

RIBEIRO, F. C.; ROCHA, F. S.; ERASMO, E. A. L.; MATOS, E. P.; COSTA, S. J. Manejo com inseticidas visando o controle de percevejo marrom na soja intacta. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 48-53, 2016. DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v3i2.1132.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C. ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2015. 101 p.

SANTOS, A.; ZANETTI, R.; SANTOS, J. C.; BIAGIOTTI, G.; EVANGELISTA, A. L.; SERRÃO, E. J.; ZANUNCIO, J. C. Persistence of fipronil residues in *Eucalyptus seedlings* and its concentration in the insecticide solution after treatment in the nursery. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 314, p. 5429-5437, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-016-5304-5.

SEITZ, R. A. **Manual de poda de espécies arbóreas florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995. 56 p.

SILVA, A. F.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; GALON, L.; FERREIRA, E. A. Métodos de controle de planta daninhas. In: OLIVEIRA, M. F. DE; BRIGHENTI, A. M. (ed.). **Controle de plantas daninhas**: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Brasília, DF: Embrapa, 2018a. p. 11-33. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193269/1/Controle-plantas-daninhas.pdf. Acesso: 28 jul. 2021.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; MOHAN, M. M.; BRIGHT, B. C. **LiDAR Analysis in R and rLiDAR for Forestry Applications**. Moscow ID: Summer, 2018b. 89 p.

SILVA, L. M. R. **Incremento medio anual de teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones comerciales, Distrito Puerto Inca, Huánuco - Perú**. 2017. 97 f. Monografia de Curso (Profissional em Engenharia Florestal) - Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

SILVA, R. S.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; ROCHA, J. R. M.; CHAVES, A. G. S.; SOUZA, H. S.; MOTTA, A. S. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 397-405, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.143015.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TRINDADE, C.; JACOVINE, L. A. G.; REZENDE, J. L. P.; SARTORIO, M. L. **Gestão e controle da qualidade na atividade florestal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012. 273 p.

TSUKAMOTO FILHO, A. de A.; JUNIOR, E. V. F.; TABACZENSKI, B. M.; TAKIZAWA, F. H.; NETO, R. M. R.; MARTINEZ, D. T. Implicação de hidrogéis no crescimento inicial e sobrevivência no campo de mudas de teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes intervalos de irrigação. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 62, 2010, Natal. **Anais** [...]. Natal: SBPC, 2010. p. 3995-3995.

UGALDE ARIAS, L. A. (ed.) **Teak**: new trends in silviculture, commercialization, and wood utilization. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforestry, 2013. 552 p.

VALÉRIO, B. E.; MEDEIROS, R. A.; ALMEIDA, E. J.; PINTO, J. M.; MAROSTEGA, G. B.; FERREIRA, L. C. S. Época de desrama em plantios jovens de teca clonal e seminal. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS,10., 2018, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2018. p. 1539-1544.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2000. p. 65-75.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; LOCATELLI, M. **Influência da desrama artificial sobre o crescimento da teca (Tectona grandis) no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2010. 4 p. (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 114). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47490/1/ct114-teca.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 3, p. 381-390, 2005. DOI: https://doi.org/10.14214/sf.375.

WILCKEN, C. F.; RAETANO, C. G.; FORTI, L. C. Termite pests in eucalyptus forests in Brazil. **Sociobiology**, v. 40, n. 1, p. 179-190, 2002.

ZANETTI, R.; SANTOS, A.; DIAS, N.; SOUZA-SILVA, A.; CARVALHO, G. A. **Manejo integrado de pragas florestais.** Lavras, MG: Ed. da UFLA, 2004. 117 p.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; SANTOS, J. C.; DA SILVA, W. L. P.; RIBEIRO, G. T.; LEMES, P. G. An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. **Forests**, v. 5, n. 3, p. 439-454, 2014. DOI: https://doi.org/10.3390/f5030439.



10

Sistemas de integração com teca

Maurel Behling
Flávio Jesus Wruck

Introdução

A intensificação sustentável do uso da terra é o caminho para conciliar a demanda crescente de produção de alimentos com a conservação de ecossistemas naturais. No Brasil, o segundo maior produtor de carne bovina do mundo (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes, 2020), a intensificação dos sistemas de produção, até então baseados em pastagens, é fundamental para melhorar a eficiência da produção e reduzir o desmatamento, uma vez que fazendas de gado de baixa produtividade e renda ocupam a maior parte da área agrícola. No setor de florestas plantadas, a monocultura é predominante e, no caso da teca (*Tectona grandis* L. f.), outros agravantes são: alto custo de implantação e manutenção, ciclo longo de produção (imobilização de capital) e, consequentemente, retorno financeiro demorado. Neste contexto, a estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma oportunidade promissora no conjunto de possíveis estratégias de intensificação, pois tem o potencial de recuperar vastas áreas de pastagens degradadas, mitigar as emissões de gases de efeito estufa e, principalmente, atua como alternativa para minimizar os riscos e amortizar os custos advindos da implantação e da manutenção dos plantios de teca.

Portanto, os sistemas ILPF constituem em uma forma de uso eficiente da terra, em que ocorre o consórcio entre a agricultura, a pecuária e a silvicultura, obtendo-se benefícios das interações ecológicas e, ou econômicas resultantes desta combinação (Balbino et al., 2011). Por conta da necessidade de alternativas tecnológicas e inovadoras, que tenham por objetivo o desenvolvimento socioeconômico regional e a substituição da monocultura, a teca tem seu lugar garantido como componente florestal, por ser considerada uma espécie de elevado valor econômico para o suprimento sustentável das necessidades de indústrias de base florestal, cujo principal produto é a madeira de qualidade para a fabricação de móveis de luxo, pisos, embarcações, além do aproveitamento dos resíduos e sobras de processamento para fins energéticos (Pelissari et al., 2014).

É referida como a rainha das madeiras tropicais e, de acordo com o botânico alemão do século XIX, Sir Dietrich Brandis, “a teca está para as espécies madeireiras, como o diamante entre as pedras preciosas e o ouro entre os metais”. A expectativa gerada pela teca plantada é alta por causa da elevada demanda por madeira, acompanhada da redução da sua oferta em florestas naturais devido à superexploração, ao desmatamento e à conversão para outros usos da terra. Embora a demanda anual de madeira das florestas plantadas de teca seja estimada em cerca de 30 milhões de m^3 (Midgley et al., 2015),

apenas 2,0-2,5 milhões de m^3 são colhidos anualmente em florestas naturais e plantadas. Espera-se que esse nível de produção aumente, principalmente, com as florestas plantadas presentes na América do Sul e Central.

A estimativa da demanda de madeira no mercado interno, para o ano de 2030, poderá atingir 300 milhões de m^3, o que significa plantar 2,0-2,5 vezes mais do que é plantado atualmente para atender esse mercado (Vilela; Pulrolnik, 2015). Embora, até o ano de 2030, o consumo mundial de madeira em toras atingirá 2,4 bilhões de m^3. Já as projeções do mercado mundial de madeira tropical nobre estimam a demanda de 136 milhões m^3 ano^{-1} para 2050. Desses, estima-se que 36 milhões m^3 ano^{-1} serão supridos por florestas tropicais naturais sob manejo sustentável, em 2050. A diferença de 100 milhões m^3 ano^{-1} deverá ser suprida por madeira tropical nobre de plantações (FAO, 2009). Assim, a pergunta fundamental não é se haverá demanda por teca no futuro, mas sim de onde virá, quem a produzirá e como será produzida?

Nesse contexto, o Brasil possui a maior área plantada de teca na América Latina, com cerca de 94 mil ha (IBÁ, 2019) e, em breve, será o maior exportador de madeira dessa espécie oriunda de plantações (Takizawa, 2020). Segundo estatísticas oficiais de exportação de produtos agropecuários brasileiros, nos últimos dez anos, somente a exportação de toras saltou de pouco menos de 10 mil m^3 ano^{-1} para mais de 140 mil m^3 ano^{-1}, sendo a Índia o principal comprador mundial de toras (Takizawa, 2020). Nos estados de Mato Grosso e Pará, estão mais de 80% das áreas plantadas brasileiras com teca e mais de 60% dessas são resultados de investimentos estrangeiros e que, em plantações de menor escala, despertaram interesse e impulsionaram produtores rurais e empreendedores locais a também entrarem na atividade, como forma de complementar e diversificar a renda da propriedade rural.

Atualmente, mais do que aumentar a área plantada, há a preocupação em melhorar a produtividade dos plantios de teca pela seleção de genótipos mais produtivos e, principalmente, pela adoção de sistemas de produção sustentáveis. Portanto, além dos plantios homogêneos, a teca também é uma excelente opção para sistemas integrados de produção agropecuária, seja com culturas agrícolas (Moretti et al., 2014; Medeiros et al., 2015) e, ou com forragens para produção animal (Cañadas-L et al., 2018; Domingos Júnior; Coelho, 2018). Esses sistemas se caracterizam essencialmente por serem mais amigáveis ao meio ambiente, quando comparados à monocultura, pois buscam otimizar o uso da terra para a obtenção de produtos agrícolas, pecuários e madeireiros ou não madeireiros, proporcionando a produção periódica de um ou mais desses componentes (Alao; Shuaibu, 2013). Além disso, os sistemas ILPF são especialmente importantes em regiões tropicais e subtropicais, onde podem ser

usados como alternativa sensata para recuperar áreas degradadas (Sun et al., 2017), sendo a teca adequada para ambientes tropicais.

O principal desafio para o maior avanço dos cultivos com teca está relacionado ao seu alto custo de implantação e de manutenção. Somado a isso, seu ciclo de produção é longo (imobilização de capital) e o retorno financeiro demorado, pois o mesmo acontece no corte final das árvores, em idades que variam de 20-25 anos. Além disso, os riscos associados à ocorrência de insetos-pragas, de doenças e de fogo (acidental e, ou intencional) são potencializados no monocultivo, com possibilidade de ocorrer a perda de todo o investimento realizado. Assim, como forma de minimizar os riscos, tem sido crescente o interesse de produtores rurais, em especial aqueles ligados à pecuária, na inclusão da teca como componente florestal dos sistemas integrados de produção agropecuária, com o objetivo principal de complementar e diversificar a renda, no caso, a pecuária amortizando os custos de implantação e manutenção da teca. Portanto, a teca já tem seus passos trilhados rumo a outro exemplo de sucesso da silvicultura brasileira, desde que ocorra com adequado planejamento e execução.

A modalidade mais utilizada para integrar a pecuária com teca é o sistema silvipastoril, também conhecido como sistema de integração pecuária-floresta (IPF), que consiste na produção animal em pastagem, sob árvores bem espaçadas ou entre as faixas das árvores (renques). Esse sistema tem atraído a atenção de diversos produtores e criadores de animais, uma vez que o mercado consumidor de produtos de origem animal tem dado maior importância à sustentabilidade da produção e ao bem-estar animal (Zanin et al., 2016). A intensificação sustentável da produção agrícola na propriedade rural, realizada por meio da integração entre os componentes de produção, deve ser entendida e tratada como um novo “empreendimento”, diferente e muito mais complexo do que os antigos negócios da fazenda que, por sua vez, deverá ser entendida, tratada e administrada como uma empresa rural, incorporando gradativamente os mais modernos processos de gestão dentro do planejamento de longo prazo.

Normalmente, devido a maior complexidade, os sistemas silvipastoris requerem maior número de atividades que àquelas demandadas pelas monoculturas. Entretanto, dentro da cadeia produtiva, as estratégias destes empreendimentos devem incluir economia de escala e valor agregado à madeira produzida. Desta forma, fomentar a conversão de áreas de pastagens em sistemas silvipastoris com teca poderá ser um importante diferencial competitivo do agronegócio brasileiro, tanto para o setor pecuário quanto para o setor de base florestal, uma vez que estes sistemas apresentam a possibilidade de geração de emprego e incremento da renda, com maior eficiência que a pecuária extensiva e, consequentemente, maior tendência

para oferecer a sustentabilidade. Isso desde que o cultivo da teca seja realizado em áreas com condições edafoclimáticas adequadas para seu cultivo no Brasil, conforme visto em capítulo específico desta publicação.

Dessa forma, os sistemas ILPF, onde o componente florestal é a teca, são alternativas de sustentabilidade, pois estão alicerçados em princípios econômicos de utilização racional dos recursos naturais renováveis, sob exploração com menor impacto ao meio ambiente, capazes de gerar benefícios sociais, porém sem comprometer o potencial produtivo dos agroecossistemas regionais. Por outro lado, em regiões com pouca tradição florestal, existe a necessidade de introduzir o conceito de produtor florestal, que requer o desenvolvimento e a viabilização de tecnologias para obter madeira de teca com qualidade. Da mesma forma, a sinergia entre os componentes, que permitirá agregar valor ao sistema, só irá acontecer na medida em que o produtor se especializar no manejo e na condução das árvores de teca, com desbastes e podas planejadas. Assim, o objetivo deste capítulo é, portanto, apresentar e discutir diversos aspectos relacionados com a implantação de sistemas de ILPF que utilizam a teca como componente arbóreo, com especial ênfase no arranjo de plantio, na implantação e na condução das árvores.

Os pioneiros no Brasil

Em Mato Grosso, o sistema silvipastoril é utilizado como estratégia de ampliação da área de produção da madeira de teca, em regiões onde o uso da terra é predominantemente de pastagens e as condições edafoclimáticas são favoráveis para o seu cultivo, sem promover a substituição de um monocultivo (pastagens) por outro (florestas plantadas), mas com foco na complementação de benefícios. Enquanto a pecuária cobre o fluxo de caixa negativo, proporcionado pelo período de maturação do investimento de longo prazo na teca, essa por sua vez incorpora ao sistema benefícios importantes do ponto de vista da sustentabilidade ambiental (ciclagem de nutrientes, conservação do solo, ambiência animal, fixação de carbono, dentre outros), econômica (poupança verde) e social (geração empregos, distribuição de renda e outros), por promover entradas de recursos distribuídas ao longo do tempo (comercialização da madeira de desbastes e da colheita final). Permite também ao produtor incentivar a permanência de seus sucessores no campo.

Inicialmente, a implantação dos primeiros sistemas foi realizada com mudas obtidas de sementes e com emprego de menor tecnologia na condução das árvores, já as novas áreas têm sido implantadas com mudas clonais e emprego de maior tecnologia na sua condução.

Atualmente, estima-se que exista no estado de Mato Grosso cerca de 4 mil ha implantados com o sistema silvipastoril com a teca como componente arbóreo. Estância Anna Sophia, Fazenda Bacaeri, Fazenda Boqueirão, Fazenda Gamada e Fazenda e Haras Terraboa são propriedades pioneiras no uso de sistema silvipastoril com teca.

O primeiro sistema silvipastoril a partir de mudas seminais

O engenheiro agrônomo e produtor rural Arno Schneider é um dos pioneiros no trabalho com o sistema silvipastoril em Mato Grosso. A preocupação com o futuro do mercado para a pecuária brasileira e com a diversificação das fontes de renda motivou o produtor a utilizar esse sistema. Em 2000, o produtor resolveu plantar 150 ha de teca em integração com pastagem, na densidade de 120 árvores ha^{-1} nas suas propriedades: Estância Anna Sophia e Fazenda Boqueirão, ambas no município de Santo Antônio do Leverger, na região da Baixada Cuiabana, em Mato Grosso. A Fazenda Boqueirão é considerada referência na produção de pecuária de corte. Além de uma genética bovina diferenciada, são adotadas outras práticas agropecuárias, como a adubação e o manejo de pastagens, para alcançar a sustentabilidade na atividade.

A pecuária de cria, com cruzamento de Nelore com Aberdeen Angus, é a principal atividade da fazenda, onde cria cerca de 4 mil cabeças de gado em 1,9 mil ha ocupados com pastagem. Em 2015, a Fazenda Boqueirão foi uma das vencedoras da primeira edição do Prêmio Famato em Campo, da Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso, com a temática "Rentabilidade no meio rural". Na época, a fazenda foi premiada por realizar o ciclo completo com domínio total das etapas, baseado no ganho da heterose dos cruzamentos entre as raças Nelore, Caracu, Brahman e Aberdeen Angus; boa logística; diversificação econômica; IPF; gestão familiar bem distribuída; boa comunicação interna; baixo custo de produção associado ao grande desempenho zootécnico e uso de tecnologia na adubação de pastagem e suplementação estratégica.

O plantio da teca, com mudas produzidas por sementes, é feito anualmente para que, no futuro, a fazenda possa ter a colheita contínua dessa madeira. O pecuarista decidiu apostar na IPF como forma de adicionar renda à atividade já praticada, ou seja, trabalha com a filosofia de que “um hectare pode render muito mais”. Como forma de reduzir os custos de implantação, o produtor utiliza mudas de regeneração natural coletadas na própria fazenda, em 100 ha de plantio homogêneo de teca. Os erros e os acertos observados ao longo dos anos ajudaram o produtor a moldar a configuração ideal de implantação. Atualmente, as mudas de teca são plantadas em linhas simples, com espaçamento de 25 m entre renques e no sentido Norte-Sul.

No sistema silvipastoril de teca com *Urochloa brizantha* (Cultivar BRS Marandu), a taxa de lotação é 1,3 unidade animal (UA) ha^{-1} no período seco e 1,8 UA ha^{-1} no período das águas. A entrada de animais jovens (recria) no sistema silvipastoril só ocorre um ano após o plantio das árvores, período esse utilizado para recuperar e, ou reformar as pastagens (Figura 1).



Figura 1. Sistema silvipastoril da Fazenda Boqueirão, no município de Santo Antônio do Leverger, estado de Mato Grosso.

Ao longo do desenvolvimento das árvores nesses sistemas, a teca seminal apresentou crescimento inferior ao crescimento de teca clonal. Aos 20 anos de idade, as árvores atingiram diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 38 cm e altura total média de 20 m. Todavia, esse crescimento do DAP é superior ao crescimento das árvores no plantio homogêneo. O volume de madeira produzida no ciclo de 20 anos foi 28 m^3 ha^{-1}, considerando a obtenção de três toras de 2,3 m de comprimento por árvore no sistema, com o corte de 80 árvores ha^{-1} (Figura 2).

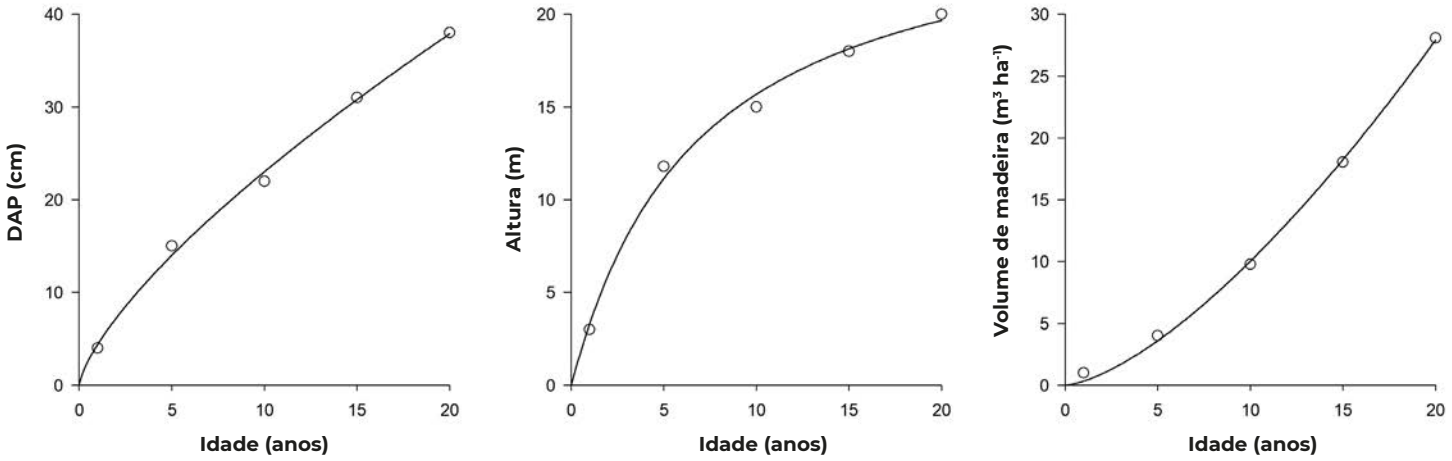


Figura 2. Crescimento das árvores em diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume de madeira comercial por área do sistema silvipastoril da Fazenda Boqueirão, no município de Santo Antônio do Leverger, estado de Mato Grosso.

Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

A principal desvantagem da introdução da teca em pastagens é a necessidade de se isolar a área plantada (vedação), por um período de um a dois anos. A depender das condições edafoclimáticas onde o sistema esteja sendo implantado, é possível a inclusão de animais menores (recria) já no início do segundo ano. Para superar essa desvantagem, nas áreas onde a pastagem necessitava ser reformada e, ou renovada na Estância Anna Sophia, decidiu-se testar uma nova estratégia: consorciar teca com mandioca nos primeiros anos, como forma de evitar a ociosidade da área e viabilizar, financeiramente, a renovação das pastagens. Desta forma, graças a uma oportunidade de mercado para a mandioca de mesa e a sua logística favorável, foi possível a implantação de um sistema ILPF, intensificando o uso do solo.

Atualmente, a Estância Anna Sophia tem 140 ha de sistema silvipastoril com teca e outros 40 ha, plantados na safra 2018/2019, que serão manejados em sistema ILPF (mandioca, teca e pecuária). Todavia, devido ao período tardio do plantio na safra 2018/2019, a mandioca só foi cultivada em 12 ha dessa nova área. Como a fazenda não possuía sistema de irrigação, um caminhão pipa foi utilizado para irrigar a mandioca no período da seca. Isso também ajudou a definir o espaçamento entre as linhas do mandiocal. No ano agrícola 2019/2020, os 28 ha restantes foram plantados no período chuvoso. A ideia é fazer dois a três ciclos de mandioca antes de semear a forrageira e retornar com o rebanho à área (Figura 3). O espaçamento da teca é 25 m x 5 m (125 árvores ha^{-1}) e 10.000 plantas de mandioca ha^{-1}, cultivadas nas entrelinhas da teca.

Segundo estimativas do produtor, considerando a oportunidade de mercado e a logística favorável, a mandioca de mesa paga a implantação do sistema e possibilita melhor arranque das árvores, quando comparado ao sistema implantado nas áreas de pastagem já formadas, com necessidade de vedação. As desvantagens do sistema (teca, mandioca e pecuária), são apontadas a seguir. Há grande demanda de mão de obra para o cultivo da mandioca. Além disso, apesar da Estância estar próxima ao município de Cuiabá, a comercialização da mandioca ainda é amadora e requer maior profissionalismo. Na pós-colheita, a área fica muito infestada com plantas daninhas e os resíduos da mandioca dificultam a gradagem para a formação do pasto. O mercado da mandioca é muito volátil e o pecuarista não está familiarizado com ele, logo, uma comercialização malfeita pode comprometer todo o investimento com a mandioca. A colheita da mandioca, embora seja realizada pelo comprador, é complexa e feita de forma manual, demandando muitas pessoas da fazenda. Por fim, controlar com precisão o volume de mandioca colhido também é uma tarefa árdua.





Fotos: Maurel Behling

Figura 3. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na fase de lavoura, com teca e mandioca, na Estância Anna Sophia, no município de Santo Antônio do Leverger, estado de Mato Grosso.

O primeiro sistema silvipastoril a partir de mudas clonais de teca

A Fazenda Bacaeri, localizada ao norte de Mato Grosso, é outro exemplo da utilização da teca em sistemas silvipastoris. Entre 1996-2003, a teca foi implantada no sistema convencional (homogêneo), com plantio de mudas obtidas de sementes, na densidade de 1.100 árvores ha^{-1}, com desbastes no decorrer do tempo e com a expectativa de colher 150 árvores no corte final, aos 25 anos. Depois de um período de seis anos sem plantios, com pesquisas sobre os sistemas existentes disponíveis e a avaliação das características da região e da fazenda, foi percebido o potencial de negócio resultante da integração da teca com a pecuária (IPF). Como os primeiros plantios homogêneos de clones de teca foram estabelecidos no Brasil em 2003, a Fazenda Bacaeri é pioneira na utilização de clones da teca denominados de A1, A2 e A3, originários das Ilhas Salomão, em sistemas silvipastoris consorciados com a cultivar de braquiária BRS Marandu para produção de pecuária de corte. O primeiro talhão do sistema silvipastoril foi implantado na fazenda em 2008, com materiais obtidos de sementes e clones, onde foram testadas sete diferentes configurações de plantio (15 m x 2 m, 15 m x 4 m, 15 m x 6 m, 18 m x 3 m, 20 m x 2,5 m, 20 m x 3 m e 22 m x 3 m), com amplitude de 111-333 árvores ha^{-1} (Figura 4).

Já em 2020, a Fazenda possuía 1.200 ha de plantio homogêneo de teca com idades de até 22 anos, 6.700 ha de pecuária bovina de corte para recria e engorda de animais e 750 ha de sistema silvipastoril com teca, em idades variando entre 2-12 anos. A estratégia de IPF utilizada é o consórcio da forrageira com a teca, cultivada na configuração espacial de 20 m x 3 m (60 m^2 $árvore^{-1}$) garantindo o mínimo de 150 árvores ha^{-1}. A entrada dos animais jovens (recria) no sistema ocorre entre os seis meses e um ano após o plantio das árvores. A Fazenda consegue manter a taxa de lotação entre 1,8-2,0 UA ha^{-1}, equivalente à pecuária solteira, graças ao rigoroso manejo de copa da teca que é realizado anualmente, para obtenção de madeira de alto valor agregado (Figura 5).



Fotos: Maurel Behling

Figura 4. Sistema silvipastoril da Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.



Foto: Maurel Behling

Figura 5. Condução da desrama artificial das árvores de teca no sistema silvipastoril da Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.
Fonte: Takizawa e Coutinho (2022) (Figura 5B).

Na avaliação do desenvolvimento da teca, no sistema silvipastoril da Fazenda Bacaeri, as árvores apresentaram bom crescimento em DAP e altura, indicando que não houve estagnação do crescimento, ou seja, as árvores ainda continuam crescendo na idade de 12 anos (Figura 6). O crescimento em altura foi superior ao encontrado onde a teca é nativa, como Índia e Tailândia (Gyi; Tint, 1998); também foi maior quando comparado ao crescimento ocorrido na Malásia (Noor, 2003) e nos estados de Roraima (Tonini et al., 2009) e Pará (< 14 m aos 12 anos) (Rossi et al., 2011), como também o crescimento em DAP é bem superior à média dos plantios homogêneos na região (~ 19 cm) (Silva et al., 2014). O volume individual e a produção de madeira por área apresentaram comportamento

sigmoidal em função da idade, padrão típico de crescimento das árvores. O volume aumenta lentamente nos anos iniciais, porém, há aumento exponencial com avanço da idade. O estoque de madeira acumulado aos 12 anos é superior aos 100 m^3 ha^{-1} (Figura 6).

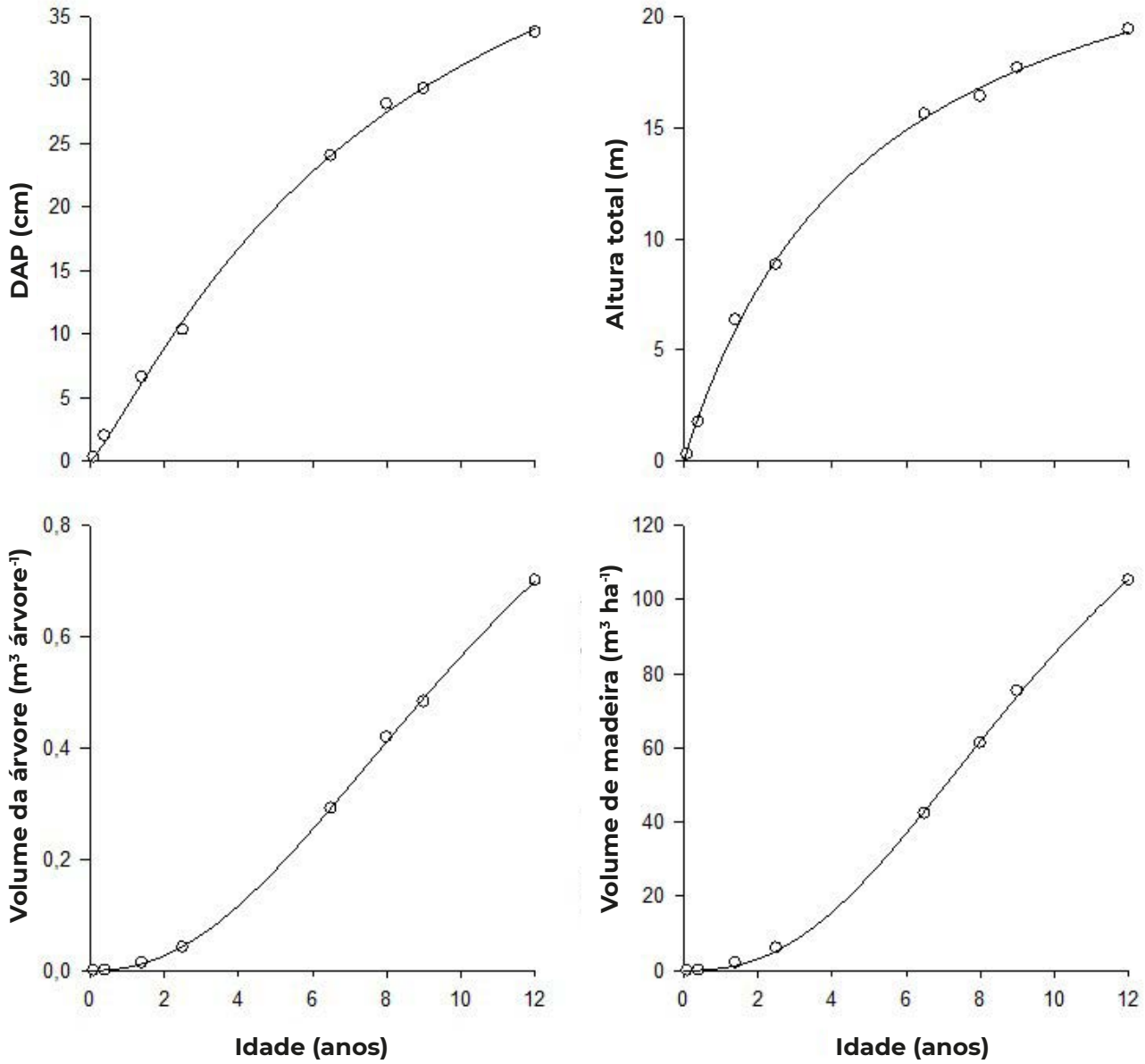


Figura 6. Crescimento das árvores em diâmetro na altura do peito (DAP), altura total, volume individual da árvore e produção de madeira de teca em função da idade, no sistema silvipastoril da Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, MT, estado de Mato Grosso.
Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

A Fazenda e Haras Terraboa do Grupo Amper, no município de Araputanga, região oeste de Mato Grosso, é outro exemplo de pioneirismo. Em área de 3 mil ha, a Fazenda Terraboa desenvolve atividades especialmente voltadas para recria e engorda de bois de cruzamento industrial entre as raças Angus e Nelore. A implantação do sistema ILPF começou no ano de 2009, com o plantio dos clones de teca denominados A1, A2 e A3. O sistema foi implantado em 620 ha, no espaçamento de 2 m entre árvores e entrelinhas de 20 m (250 árvores ha^{-1}). A teca foi conduzida em consórcio com lavouras de milho e de soja, nas entrelinhas das árvores, nos primeiros três anos e o cultivo de gramíneas *U. brizantha* (Cultivar BRSMG-5) para pastagem nos anos subsequentes. A partir do primeiro ano foi aplicada a desrama das árvores, com retirada de galhos até 40% da altura total da árvore. A entrada dos bovinos ocorre no final do terceiro ano após o plantio da teca, com o uso de animais das raças Aberdeen Angus x Nelore, Nelore x Caracu e Aberdeen Angus x Brahman. O pastejo é rotativo, com a permanência dos animais por sete dias em cada piquete de 25 ha e ocupação de 3 UA ha^{-1}. Em 2015, a área com o sistema silvipastoril foi ampliada e, atualmente, a fazenda possui 1.000 ha desse sistema com a teca.

A primeira unidade de referência com teca no sistema ILPF

A Fazenda Gamada, de propriedade do Sr. Mario Wolf, em Nova Canaã do Norte, também em Mato Grosso, possui 2.420 ha com pecuária de ciclo completo, com animais do cruzamento Rúbia Gallega x Nelore. O Senhor Wolf é um dos 25 pecuaristas fornecedores de carne, proveniente desse cruzamento, para o programa do Grupo Pão de Açúcar, que a comercializa sob o selo Taeq Rúbia Gallega. Pela carne mais macia e com menor teor de gordura, Wolf recebe um preço adicional. Na Fazenda Gamada, há também áreas destinadas ao cultivo de soja e de milho.

Produzir animais com sangue Rúbia Gallega não seria tão eficiente se não fosse a engrenagem produtiva da Fazenda Gamada. A propriedade, adquirida em 1997, foi a primeira na região a cultivar grãos. Como a pecuária é a atividade base da família e, diante de um quadro de deterioração das pastagens gerado, sobretudo, pela síndrome da morte do braquiarão, o produtor buscou na tecnologia uma saída, adotando inicialmente a integração da pecuária com a lavoura (ILP) parar recuperar os pastos degradados.

Assim, devido à mobilidade e à diversidade produtiva dessa Fazenda, foi proposta a primeira unidade de referência tecnológica (URT) de ILPF em Mato Grosso, que posteriormente se tornou uma Unidade de Referência Tecnológica e Econômica (URTE) do projeto desenvolvido

pelo Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), em parceria com a Embrapa Agrossilvipastoril, de Sinop, MT, onde a pastagem divide espaço com plantações de eucalipto, de pau-de-balsa, de pinho-cuiabano e de teca.

Essa URTE de ILPF, pioneira da Fazenda Gamada, foi instalada pela Embrapa e parceiros em 85 ha, em janeiro de 2009. O sistema está dividido em dez talhões, cada um com uma configuração, o sistema com teca (clone A3) corresponde a 5 ha, com seis renques de linhas triplas. No primeiro ano, foi cultivado arroz para terras altas entre os renques triplos da teca, espaçados de 20 m (20 m + 3' (3 m x 3 m)). A produtividade do arroz, 60 sacas ha^{-1}, não foi afetada pelas árvores, ainda de baixa estatura. A soja ocupou o espaço no segundo e no terceiro anos. Em seu primeiro ciclo, a soja não foi afetada pelo sombreamento das árvores (66 sacas ha^{-1}). No terceiro ano, a redução na produtividade ficou entre 10-20 sacas ha^{-1}. Em plantio solteiro, a produtividade média da soja foi 58 sacas ha^{-1}. No final do terceiro ano, o sistema foi convertido para silvipastoril e a pecuária ainda está sob observação, tanto quanto ao desenvolvimento das forrageiras (*U. brizantha* (Cultivar BRS Piatã), *U. ruziziensis* e a braquiária híbrida ConvertHD®) quanto ao pastejo. Em três anos, ficou patente a exigência de controle efetivo da entrada e da saída de animais, de acordo com altura do pasto e, também, atenta correção do solo e reposição de nutrientes. O grande gargalo é o manejo para entrada de luz no sistema, o que é normal, levando-se em conta a inexperiência dos produtores com a silvicultura e o fato de ser a primeira URTE instalada em Mato Grosso com o componente florestal. Nos primeiros lotes, o ganho médio de peso foi superior a 1 kg $animal^{-1}$ dia^{-1} para o cruzamento Nelore x Rúbia Galega, em recria, no período das águas, com suplementação de 0,5% do peso vivo.

Em 2014, cinco anos após plantio, a teca passou pelo primeiro desbaste que foi destinado para mourões de cerca tratados. O desbaste foi seletivo, retirando cerca de 30% das árvores. Cada árvore rendeu, em média, 4 mourões que, por sua vez, proporcionaram uma renda líquida de R$ 5,00. Esse primeiro desbaste da teca resultou em: 173 árvores ha^{-1} abatidas x 4 mourões $árvore^{-1}$ x R$ 5,00 $mourão^{-1}$ = R$ 3.460 ha^{-1} ou R$ 692 ha^{-1} ano^{-1}. O bom resultado foi favorecido pela proximidade (60 km da fazenda) de uma empresa de tratamento de madeira, reduzindo significativamente o custo de tratamento dos mourões.

No sistema, a expectativa é produzir madeira serrada de teca a partir do 12º ano. Em 2020, aos 11 anos, as árvores já estavam com a altura média de 19 m e DAP médio de 33 cm. O DAP médio das árvores de teca no sistema ILPF é 52% maior que aquele das árvores no plantio homogêneo, em talhão instalado ao lado. No entanto, no renque triplo, ocorre forte efeito de bordadura, onde as linhas laterais acabam suprimindo a linha central,

mesmo após a realização de desbaste, com remoção de 30% das árvores no quinto ano após implantação do sistema (Figura 7).

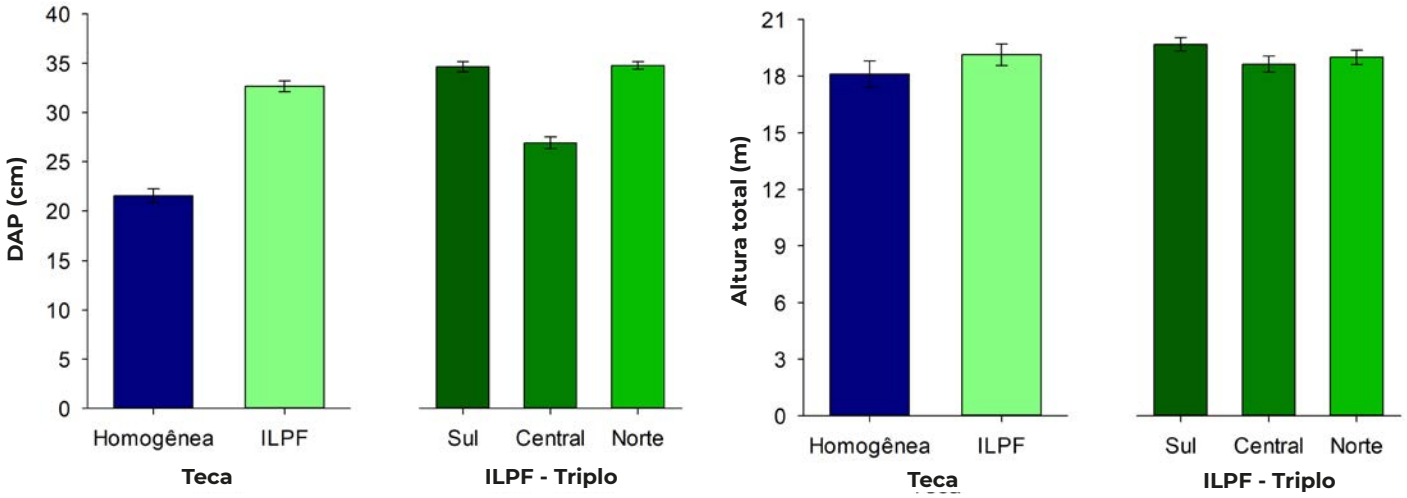


Figura 7. Características de crescimento das árvores de teca da Fazenda Gamada, em termos de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, aos 11 anos, em função do sistema de produção: homogêneo ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), e das posições: sul, central e norte das linhas de teca no renque triplo, no município de Nova Canaã do Norte, estado de Mato Grosso.
Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

Atualmente, a Fazenda Gamada está ampliando a área de sistemas de ILPF com teca mediante a implantação do sistema de linhas simples, aos moldes do modelo adotado na Fazenda Bacaeri (Figura 8). É uma área de 30 ha, com os clones A1 e A3, no espaçamento 20 m x 3 m, que será usada para a exposição dos reprodutores da raça Nelore produzidos na Fazenda.



Figura 8. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com teca e milho, implantado em 2018, da Fazenda Gamada, no município de Nova Canaã do Norte, estado de Mato Grosso.

Por que plantar teca em sistemas de ILPF?

A estimativa da demanda de madeira no mercado interno, conforme já mencionado, para o ano de 2030, poderá atingir 300 milhões de m^3, o que significa plantar 2,0-2,5 vezes mais do que é plantado atualmente para atender esse mercado (Vilela; Pulrolnik, 2015), embora o consumo mundial de madeira em toras possa atingir 2,4 bilhões de m^3 até 2030. Já as projeções do mercado mundial de madeira tropical nobre estimam a demanda de 136 milhões m^3 ano^{-1} para 2050. Desses, estima-se que 36 milhões m^3 ano^{-1} serão supridos por florestas tropicais naturais, sob manejo sustentável, em 2050. A diferença de 100 milhões m^3 ano^{-1} deverá ser suprida por madeira tropical nobre de plantações (FAO, 2009). Assim, a pergunta fundamental não é se haverá demanda por madeira de teca no futuro, mas sim de onde virá, quem a produzirá e como será produzida?

Nesse aspecto, a teca leva vantagem em relação a outras espécies cultivadas no Brasil. A exploração da teca, para madeira serrada, permite que o mercado consumidor esteja a maiores distâncias, uma vez que o elevado valor agregado da madeira absorve os custos de produção e de transporte. No entanto, o volume de madeira serrada que o mercado pode absorver será o balizador para adotar o plantio da teca em linhas simples ou em renques de linhas duplas, triplas ou múltiplas. Na configuração de linhas simples (100-150 árvores ha^{-1}), otimizam-se os demais componentes do sistema (principalmente a pecuária), ou seja, o carro-chefe do sistema será a pecuária. Já a teca entraria como estratégia de adição/composição de renda para o sistema (Figura 9), além da possibilidade de receber créditos em sistemas de certificação, tal como ocorre para o eucalipto, por meio da marca-conceito Carne Carbono Neutro® (CCN)®. Atualmente, a estratégia de adição/composição de renda da teca no sistema silvipastoril tem apresentado os melhores resultados econômicos no estado de Mato Grosso.

A definição do espaçamento entre árvores é de fundamental importância, uma vez que se procura estabelecer a área útil capaz de proporcionar o equilíbrio entre o crescimento das árvores e a manutenção da capacidade de produção dos demais componentes, principalmente o pecuário. A densidade das árvores e a sua competição por luz, água, nutrientes e espaço, são os aspectos que definirão a capacidade de produção do sistema. Além dos aspectos relacionados à produção, o espaçamento de plantio também determina os rendimentos operacionais e os custos de implantação e de manutenção, principalmente aqueles relacionados ao manejo das árvores (desramas e desbastes seletivos ou sistemáticos) para obtenção de madeira de alto valor agregado. Em sistemas de ILPF, com foco na pecuária, a implantação de linhas simples facilita o manejo das árvores, exigindo menor demanda de mão de obra.

Por outro lado, o sistema pode ser configurado para privilegiar a produção de teca com maior densidade de árvores por área. Nessas configurações, o carro-chefe do sistema passa a ser a teca e pode-se assumir que as perdas de produtividade nos componentes agrícola ou pecuário serão remuneradas pelas receitas geradas com as árvores, ou seja, há uma substituição de receitas (Figura 9).

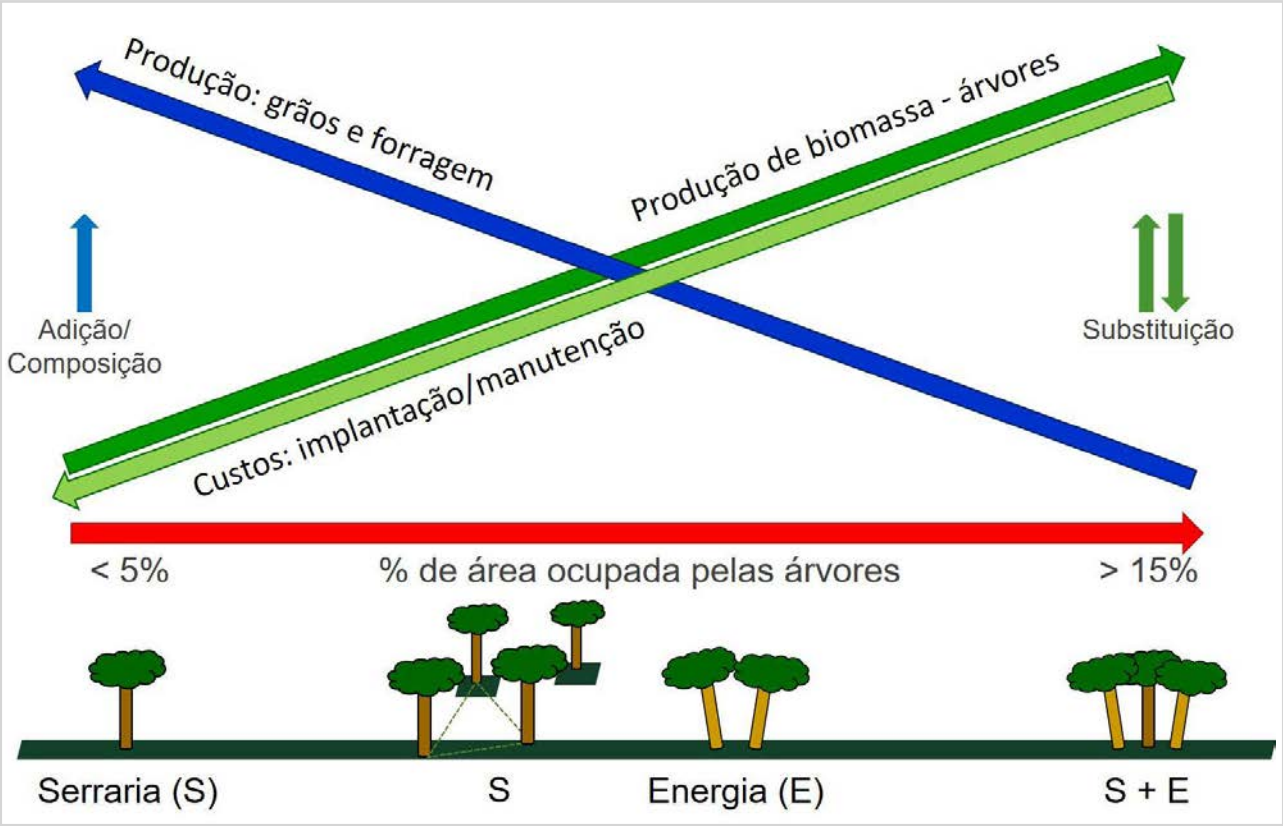


Figura 9. Esquema da abordagem quanto à adição ou substituição de renda da teca na tomada de decisão, para definição do arranjo do sistema.
Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

Por meio desses aspectos, ao decidir plantar teca de forma integrada, além de promover serviços ecossistêmicos, o produtor poderá adicionar renda ou substituir renda ao sistema. No caso da promoção dos serviços ecossistêmicos, deve ficar claro para o produtor o custo de implantação e de manutenção das árvores nos sistemas (podas frequentes). Pois não há serviços ecossistêmicos sem custo para o produtor, porque se a árvore não for manejada de forma adequada, poderá ocorrer um desserviço para o sistema. Por outro lado, o produtor também deve estar ciente que não há agregação de valor à madeira de teca sem que haja investimentos. Assim, em consonância com essa dicotomia, o produtor pode optar pelas seguintes estratégias para inserção da teca:

Adição/composição de renda com a teca

A configuração espacial de plantio mais utilizada pelos produtores é a de linhas simples, espaçadas entre 15-22 m, com espaçamento de 3-6 m entre árvores de teca na linha de plantio. Atualmente, recomenda-se, no mínimo, 4 m entre as árvores, mantendo 100-150 árvores ha^{-1} (65-100 m^2 $árvore^{-1}$), algo equivalente ao número de árvores obtidas no corte raso de plantio homogêneo da teca, após desbastes prévios (Ugalde Arias, 2013). O plantio de árvores em renques com linhas duplas, dispostas em forma de triângulo equilátero (quincôncio), também é recomendado para a obtenção de maior número de árvores ha^{-1}, com melhor distribuição das árvores no terreno e menor sombreamento da forrageira. Esse arranjo espacial minimiza a competição e evita que a copa das árvores se curve para as extremidades (Figura 10). Quando ocorre esse encurvamento, a qualidade da madeira pode ser comprometida. No caso de renque com linhas triplas, o plantio em triângulo equilátero também é recomendado para evitar as tensões de crescimento no tronco, devido à competição lateral entre as árvores.

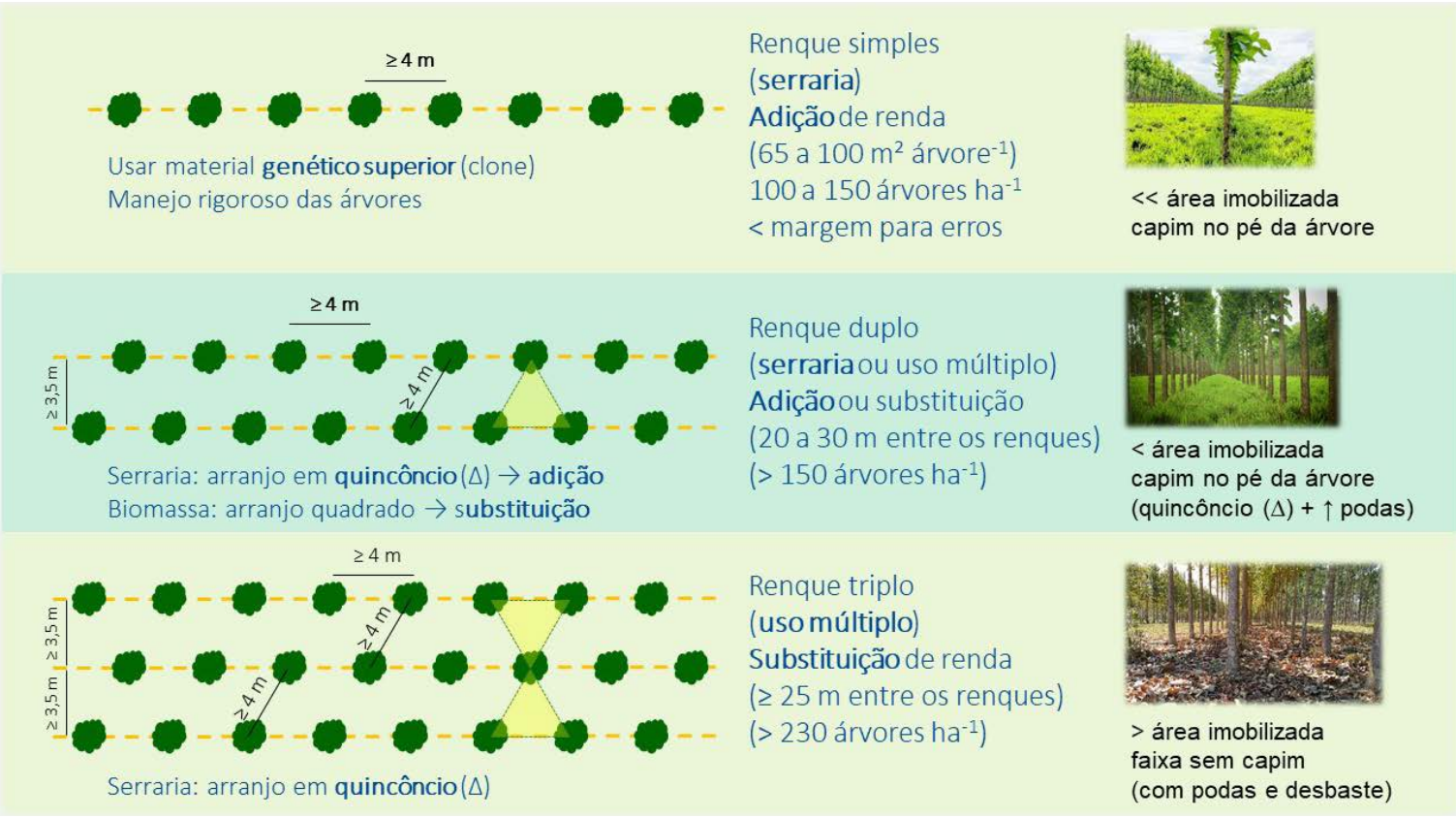


Figura 10. Espaçamentos e arranjos de plantio de teca recomendados para os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, considerando a estratégia de adição/composição ou substituição de renda.
Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

No arranjo de linhas simples ou linhas duplas em quincôncio, a área imobilizada da pastagem será basicamente a área seccional dos troncos das árvores e, graças à realização das desramas frequentes, a pastagem consegue se desenvolver bem sob a copa delas. Já no renque triplo, a forrageira não consegue se desenvolver sob a copa das árvores e, portanto, nessa faixa sem capim está ocorrendo uma substituição de receita, ou seja, a receita perdida na pecuária deve ser compensada/substituída pela receita gerada com a teca.

No caso da teca, a estratégia de adição/composição de renda no sistema silvipastoril visa minimizar a área de interface entre as árvores e a forrageira, aumentando a distância entre as linhas (≥ 16 m) e o espaçamento entre as árvores (≥ 4 m), para reduzir a competição por água, luz e nutrientes. Assim, os sistemas com árvores de teca plantadas em linhas simples, amplamente espaçadas e com manejo de desrama adequado, podem permitir maiores rendimentos das culturas intercalares e períodos de consórcio prolongados. As árvores também apresentarão diâmetros maiores, pois se beneficiam da menor competição intraespecífica e do regime de luz favorável. Além disso, os pecuaristas se beneficiariam com a redução da área perdida para as árvores e com menores custos de estabelecimento e manejo das árvores, conseguindo manter taxa de lotação equivalente ou superior ao pasto sem árvores. Sistemas com maiores distâncias entre as fileiras de árvores e com adoção de técnicas silviculturais como a desrama resultarão em ganhos de rendimentos, devido à redução da competição entre as árvores, redução dos custos de estabelecimento e manejo das árvores, além do maior crescimento em diâmetro das árvores (Gaafar et al., 2006; Bertomeu, 2012).

Portanto, distâncias maiores entre as linhas de teca favorecem o desenvolvimento da forrageira no estrato inferior e a produção de madeira de teca com maiores dimensões, além de permitir o consórcio com a forrageira por maior período e com menores limitações em termos de competição por espaço, luz, água e nutrientes. A combinação de desrama e a redução da densidade das árvores, tanto no estágio de plantio quanto no desbaste, podem provavelmente ser as maneiras mais eficientes de aumentar a transmissão de luz e, assim, aumentar os rendimentos das colheitas e prolongar o período de consórcio (Leroy et al., 2009). Ainda deve ser considerado que a desrama frequente da teca é uma prática de manejo que prolonga o período do consórcio lucrativo e é compatível com a produção comercial de madeira para serraria (Bertomeu et al., 2011).

Assim, na concepção de adição/composição de renda, a árvore de teca manejada corretamente irá interferir muito pouco na produtividade dos demais componentes, mas manterá seus serviços ecossistêmicos com adição/composição e com diversificação de renda (poupança). Na prática, a área ocupada pelas árvores é ≤ 5%, basicamente a secção do tronco e o foco consiste na obtenção de produtos madeireiros de maior valor agregado. O número

de árvores na implantação é semelhante ao número de árvores no final do ciclo (corte raso), devendo-se utilizar material genético superior (clones) no plantio e realizar um rigoroso manejo na condução das árvores. Essa é uma estratégia mais conservadora (segura) frente às crises do mercado madeireiro (maior resiliência comercial), sendo a mais indicada para o mercado de madeiras nobres e de logística complicada, tais como ocorrem em quase todo o estado de Mato Grosso, Pará, Goiás, entre outros, respeitando a aptidão edafoclimática da espécie.

Substituição de renda (renques de múltiplas linhas)

Nessa estratégia de inserção da teca no sistema integrado, a definição do espaçamento entre renques e da densidade de árvores por hectare são fundamentais para o sucesso do sistema. Nela é obrigatório, além da desrama, a realização do desbaste, visando à regulação de luminosidade para os componentes forrageiro e lavoura, bem como para favorecer a taxa de crescimento das melhores árvores e a produção de madeira. No entanto, mesmo com o manejo de desbaste e de desrama das árvores na faixa de projeção da copa, a forrageira não se desenvolve satisfatoriamente (Figura 10).

A manipulação da densidade arbórea em sistemas agrossilvipastoris é uma estratégia adotada para modificar a produção de biomassa dos outros componentes, pelo controle da competição intra e interespecífica. Para se obter níveis de luminosidade adequados para o sub-bosque (50-60%) é indispensável que as práticas de desramas e desbastes sejam realizadas em momentos oportunos. É recomendável realizar desbaste seletivo pré-comercial ao quinto/sexto ano, dependendo da qualidade do sítio e da taxa de competição, onde são retiradas as árvores com troncos retorcidos, bifurcados, com galhos grossos e defeituosos, árvores baixas, até obter a densidade desejada.

Na estratégia de substituição de renda, a árvore de teca irá interferir significativamente na produtividade dos demais componentes, mas, além dos serviços ecossistêmicos, terá que compensar a renda perdida pelos mesmos (substituição). Na prática, a área ocupada pelas árvores é ≥ 15% (faixas) e o foco do sistema são produtos madeireiros diversos (madeira fina e grossa). O número de árvores na implantação é muito maior que o número de árvores no final do ciclo, ou seja, há a necessidade de realizar, pelo menos, um ou dois desbastes intermediários antes do corte raso das árvores. Outro ponto importante é plantar as árvores em quincôncio, para minimizar as tensões de crescimento devido à competição lateral entre as árvores (Figura 10). Trata-se de uma estratégia ousada e pouco eficiente frente às crises do mercado madeireiro (pouca resiliência comercial), sendo mais indicada para mercados consolidados e de excelente logística – nichos de mercado. No cenário atual, não é a melhor estratégia para a teca implantada em sistema ILPF em Mato Grosso, Pará, Goiás, entre outros.

Em dezembro de 2014 foi implantada a URT-ILPF da Fazenda São Paulo, em Brasnorte, MT, no sistema silvipastoril com teca, utilizando a estratégia de adição de renda (Figuras 9 e 10). Estão sendo testados dois clones de teca denominados A1 e A3 e dois arranjos das árvores (linhas simples e duplas), de forma a adicionar/compor renda à produção pecuária (Figura 11). Os arranjos foram implantados em linhas simples separadas entre si por 16 m, com distância entre árvores de 4 m (16 m x 4 m) e em linhas duplas, com espaçamento 4 m x 4 m entre plantas (plantadas de forma triangular) e a distância de 16 m entre os renques (16 m + 2'(4 m x 4 m)).

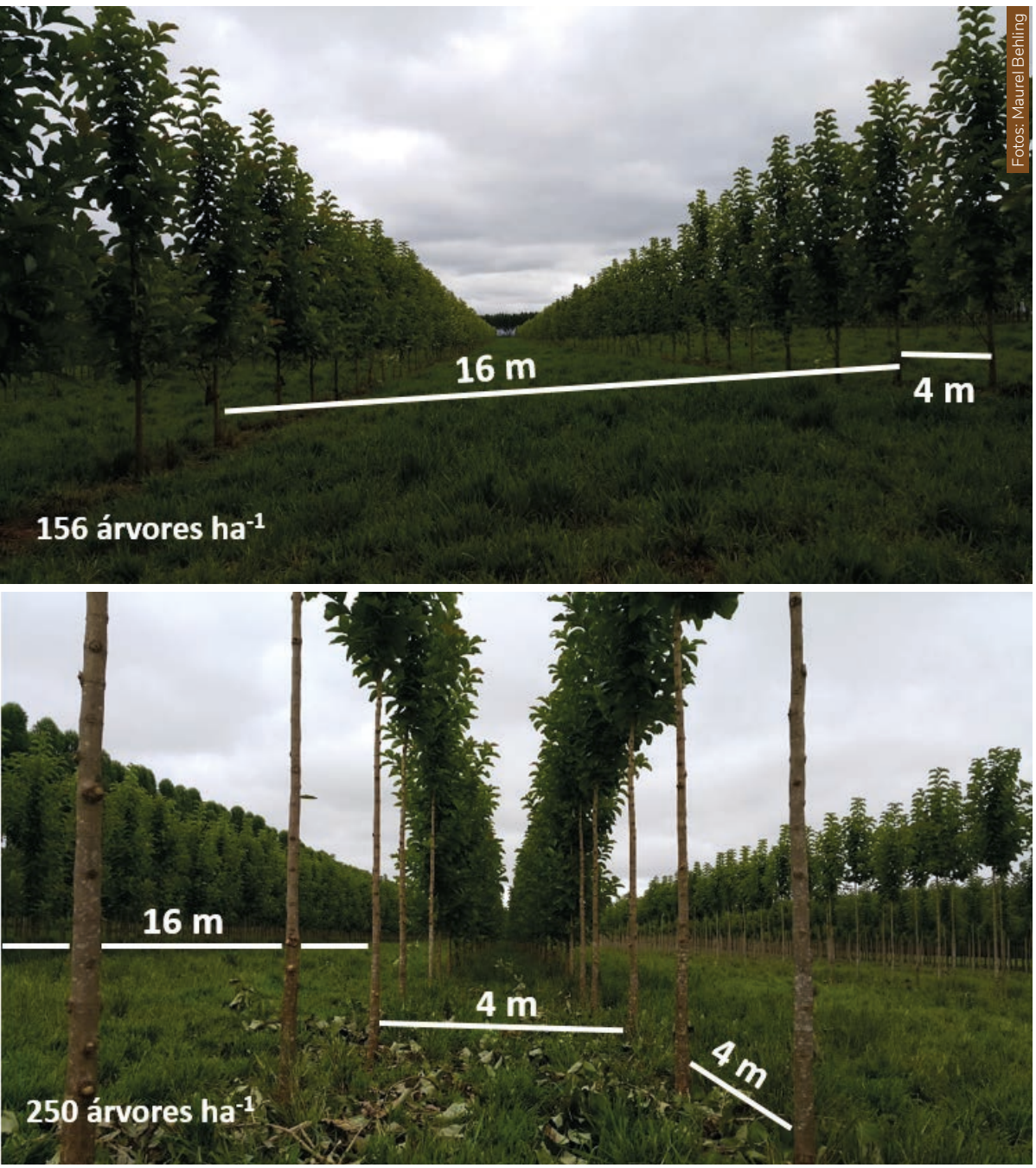


Figura 11. Sistemas silvipastoris com teca, clones A1 e A3, arranjo em linhas simples (16 m x 4 m) e arranjo de linhas duplas em quincôncio (16 m + 2'(4 m x 4 m)), na Fazenda São Paulo, no município de Brasnorte, estado de Mato Grosso.

Até o quinto ano após a implantação, não há diferenças entre o plantio em linhas simples ou duplas e entre os clones A1 e A3, quanto ao crescimento em DAP e altura das árvores de teca. Quanto ao volume individual por árvore, o clone A3, no espaçamento 16 m x 4 m, apresentou menor crescimento. O arranjo de linhas duplas apresentou, independente do clone de teca, produção volumétrica ha^{-1} 1,8 vezes maior que àquela das linhas simples. As linhas simples, aos quatro anos, apresentaram o incremento médio anual em altura de 3 m ha^{-1} ano^{-1}, enquanto nas linhas duplas o valor foi 5,6 m ha^{-1} ano^{-1} (Figura 12). A taxa de lotação da pecuária varia entre 2-4 UA ha^{-1} entre o período seco e chuvoso.

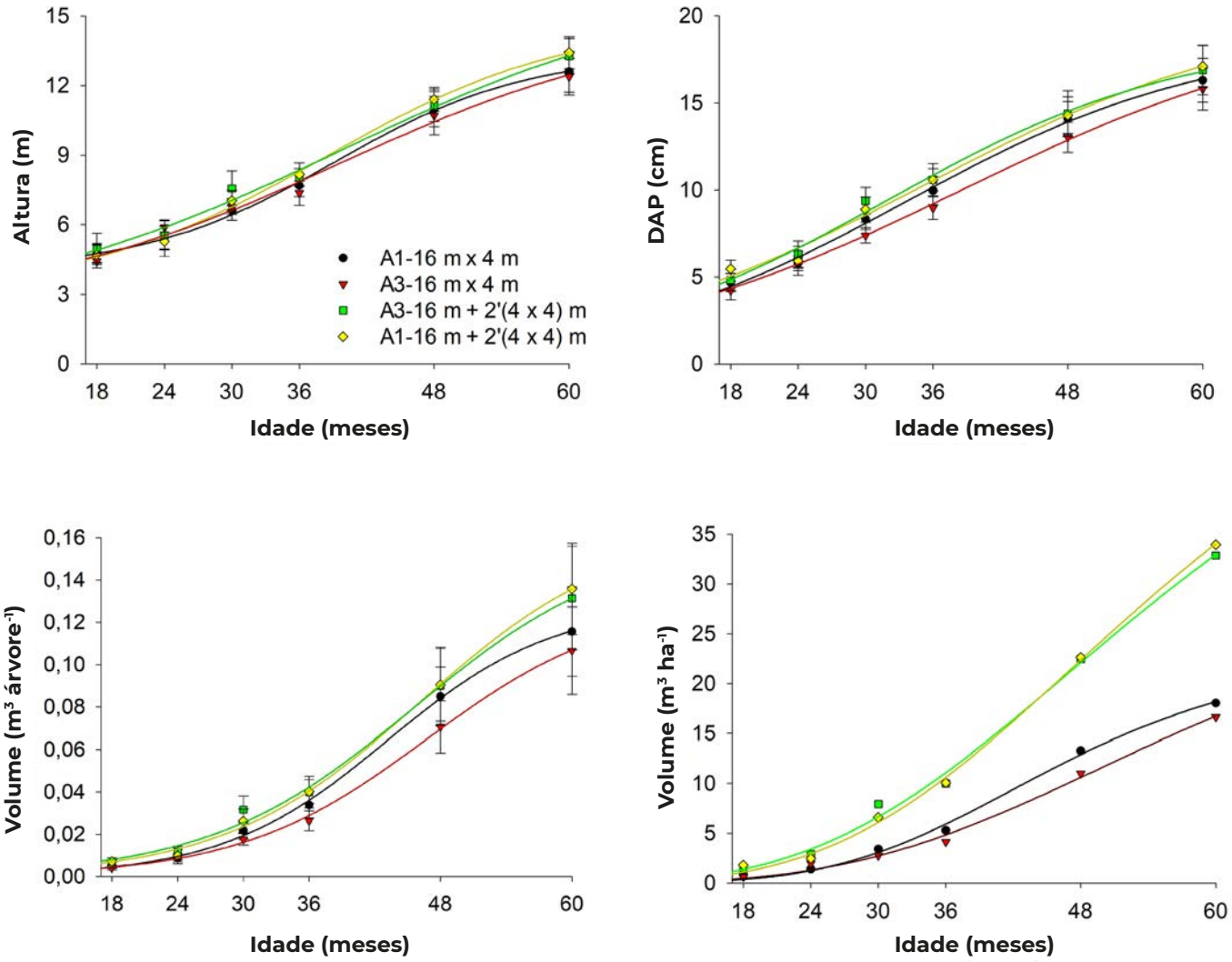


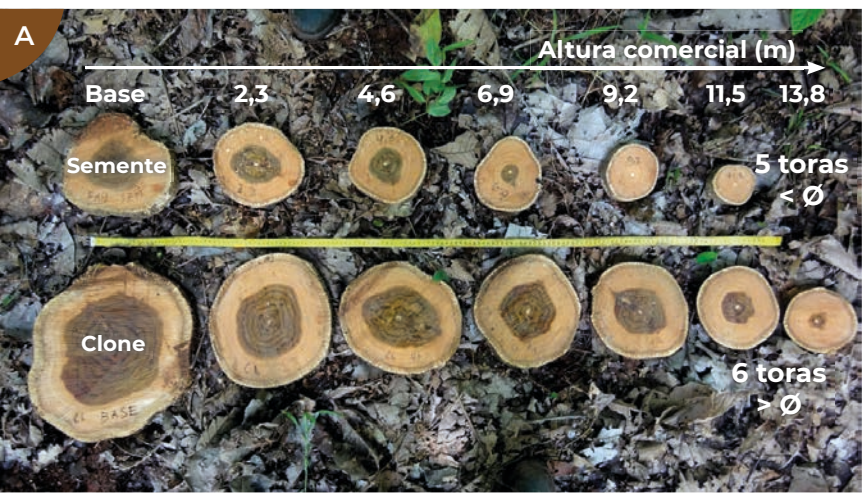
Figura 12. Desenvolvimento da teca no sistema silvipastoril (clones A1 e A3) em função da idade, na Fazenda São Paulo, no município de Brasnorte, estado de Mato Grosso.

Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

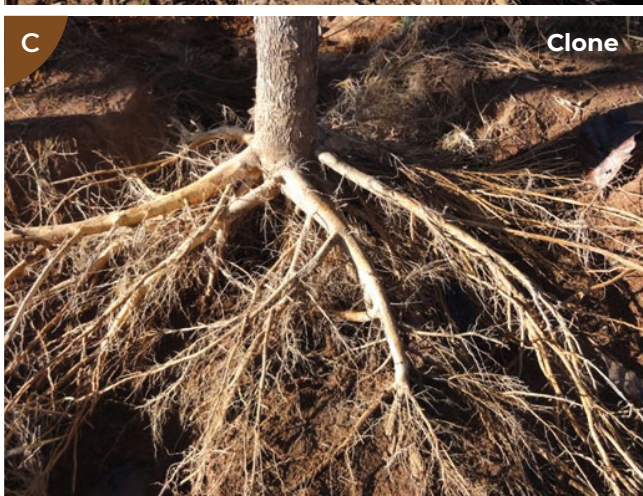
Por que usar clones de teca em sistemas de ILPF?

A adoção da silvicultura clonal da teca já é predominante nos novos empreendimentos no Brasil e tem se mostrado superior quanto ao formato do fuste, tolerância às doenças e crescimento em diâmetro e volume das árvores (Figura 13). A escolha de genótipos melhorados tem sido responsável pelos maiores incrementos de produtividade na silvicultura brasileira (Gonçalves et al., 2013; Binkley et al., 2017). Portanto, a seleção cuidadosa de genótipos superiores poderá aumentar substancialmente a produtividade da teca (Schühli; Paludzszyn Filho, 2010).

O emprego de clones geneticamente superiores permitiu um salto tecnológico, ampliando a capacidade da teca em ocupar maior variabilidade de condições edáficas e possibilitando, por exemplo, a menor densidade inicial de árvores em sistemas integrados. Além disso, proporcionou respostas positivas aos tratos culturais, em especial à fertilização e à adoção de diferentes regimes de desbastes e, ainda, despertou maiores investimentos e iniciativas para seu melhoramento genético. A produtividade registrada em certos plantios clonais, somada à adoção de manejo adequado, já supera 30% de ganhos (Goh; Monteuuis, 2012), sem contar o ganho em uniformidade de crescimento, padronização e sanidade do povoamento, precocidade para o corte final, qualidade do fuste e da madeira (Takizawa, 2020).







Fotos: Smit; Oestreich (2014).

Figura 13. Comparações entre plantios clonais e seminais instalados no mesmo local em Mato Grosso: A) alterações na seção transversal do tronco da árvore clonal (abaixo) versus seminal (acima) aos nove anos de idade, B) sistema radicular da árvore oriunda de semente, aos três anos e C) sistema radicular do clone, aos três anos de idade.

Atualmente, com a evolução da silvicultura clonal, a disponibilidade de mudas clonais no mercado tem aumentado, facilitando o seu acesso por produtores rurais interessados. Os principais clones de teca plantados são: A1, A2, A3, A8, E8 e E9. Apesar dos resultados dos plantios clonais de teca serem muito promissores, um plano de monitoramento global é necessário para avaliar o desempenho dos clones tanto do ponto de vista biológico como financeiro, em diferentes condições operacionais, além de determinar sob quais condições as plantações clonais devem ser preferidas às plantações seminais. É, também, extremamente necessário e urgente o desenvolvimento de clones específicos para sistemas integrados.

Os plantios clonais de teca crescem mais rápido que os plantios seminais (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). Sob as mesmas condições de sítio e submetidas ao mesmo manejo, as árvores clonadas mostram ganhos médios superiores de até 36% no volume total, comparativamente às árvores seminais (Figura 13). Tais resultados indicam boas perspectivas para a redução do período de rotação da teca, ou substancial aumento no volume de madeira produzido após o ciclo de corte tradicional de 25 anos. A expectativa no sistema silvipastoril, com uso de clones de teca, é realizar o corte raso das árvores entre 18-20 anos. No campo, a diferença de crescimento entre árvores clonais e seminais é facilmente percebida (Figura 14). Por exemplo, em plantações comerciais com 12 anos de idade no Brasil, os clones mostraram crescimento em diâmetro (14%) e volume por árvore (40%) superiores às plantações seminais crescendo em condições locais semelhantes (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). Já em sistemas silvipastoris em Mato Grosso, também com 12 anos de idade, o clone A1 apresentou crescimento 28% maior em DAP, 21% maior em altura total e 80% maior em volume total, quando comparados às árvores seminais, no mesmo talhão (Figura 15).

São relatados IMAs de 32 m^3 ha^{-1} ano^{-1} para plantios clonais do México e Brasil (Ugalde Arias, 2013). No Mato Grosso, plantações clonais com dez anos mostram incrementos de diâmetro superiores aos 3 cm ano^{-1}, excepcional crescimento em altura e maior volume por área, devido a homogeneidade de crescimento do talhão (Ugalde Arias, 2013). Os clones avaliados têm sido mais resistentes à ferrugem da teca (*Olivea neotectonae*), possuem melhor desrama natural e sistema radicular superficial mais denso (Smit; Oestreich, 2014). Do exposto, observa-se fortes indícios de que as maiores produtividades da teca são observadas em plantações clonais quando comparadas aos plantios seminais (Figura 15). Portanto, na implantação de sistemas integrados com teca, recomenda-se utilizar o melhor material genético disponível (clones superiores).



Figura 14. Plantio com mudas seminais (A) versus mudas clonais de teca (B) no sistema silvipastoril, aos 5,5 anos de idade, na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.

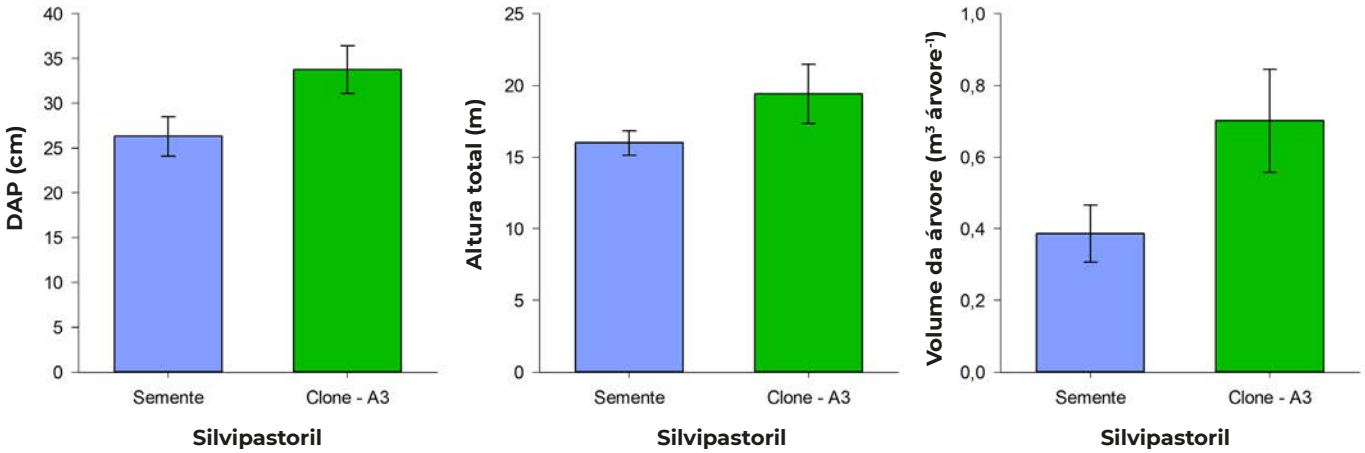


Figura 15. Comparação entre plantio seminal e o clone A3 de teca no sistema silvipastoril de linhas simples (20 m x 2,5 m) aos 12 anos de idade, na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.

Fonte: Maurel Behling e Flávio Jesus Wruck.

Implantação do sistema

O produtor deve se certificar de que a região selecionada atende às demandas edafoclimáticas para o adequado desenvolvimento da teca. A correta recomendação da calagem e da adubação deve ser pautada nas características químicas do solo e nas exigências da teca, para garantir a quantidade de nutrientes necessária para o seu pleno crescimento. A amostragem do solo deve seguir os princípios estabelecidos nos manuais de recomendação de calagem e de adubação da região onde será implantado o sistema de ILPF. Além disso, o encaminhamento da amostra para análise em laboratório credenciado de solo possibilitará a interpretação e a recomendação eficientes de corretivos e fertilizantes.

Respostas positivas às adubações são mais prováveis em solos de baixa fertilidade; em contraste, a menor probabilidade de resposta ocorre em solos onde a fertilidade natural atende as exigências nutricionais da teca. No sistema integrado, independentemente de haver respostas, a adubação de plantio (de arranque) irá garantir maior uniformidade e permitir a redução do tempo para a entrada dos bovinos no sistema. Em solos ácidos (pH < 6), recomenda-se que a saturação de alumínio seja < 4% e a saturação de cálcio > 67%, para o bom crescimento da teca (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). A recomendação geral consiste na elevação da saturação de bases acima de 50%, acompanhada de fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio e microelementos.

Os sistemas de ILPF têm sido uma boa opção para a renovação/reforma de pastagens degradadas, em seus diferentes níveis, em áreas mecanizáveis com solo apto para lavoura. Nestes casos, depois de corrigido (saturação de bases > 50%), o solo recebe o componente florestal (teca) consorciado com a lavoura, implantada no sistema de plantio direto (quando as condições físicas do solo permitirem) ou convencional, permanecendo nesta fase de um a três anos, no máximo. A partir de então, a lavoura é substituída pela pecuária, dando início à fase silvipastoril (pastagem arborizada) do sistema que permanecerá até o corte raso da teca (idade mínima de 18 anos), fechando o ciclo produtivo do sistema integrado. Após a incorporação do calcário em toda a área de implantação do sistema de ILPF, é realizada a marcação das linhas de plantio da teca e o seu preparo com sulcador florestal. É importante considerar a estratégia para definição das distâncias entre as linhas da teca (adição ou substituição de renda) e levar em conta a mecanização da área, especialmente para a utilização de pulverizadores e colhedoras para os cultivos anuais.

No sistema estritamente silvipastoril, o preparo é realizado somente na faixa de plantio da teca, por meio de calagem (com base na análise de solo) e gradagem de uma faixa de 3-4 m de largura para a incorporação do calcário. A linha de plantio é preparada com sulcador florestal (50-60 cm de profundidade) juntamente com a adubação de plantio. Em áreas de solo de textura média à argilosa e com precipitação pluviométrica anual superior a 1.700 mm, é recomendado o levantamento de uma leira de 20 cm de altura (murundum) após a sulcagem, para reduzir a possibilidade de encharcamento do solo e obter maior padronização no crescimento das árvores, pois ela favorece o estabelecimento e desenvolvimento do sistema radicular (Figura 16). A teca plantada no murundum apresenta maior crescimento e uniformidade na altura total, com incremento de até 65% das árvores em classes superiores de altura, no primeiro ano após o plantio (Costa et al., 2015). Em solos leves (textura média à arenosa), o produtor pode optar por menor revolvimento do solo (cultivo mínimo), usando somente o sulcador florestal e a calagem feita em superfície, associada com a aplicação de gesso agrícola, DG= 75 x % de argila, onde DG é a dose de gesso agrícola (kg ha^{-1}) com 15% de enxofre (Sousa et al., 2005).

O plantio deve ser efetuado na primeira metade do período chuvoso, de outubro a janeiro, dependendo da região, pois ocorre grande redução no crescimento inicial da teca quando o plantio é realizado na segunda metade do período chuvoso (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). É recomendável esperar o valor acumulado entre 30-50 mm de chuvas antes do plantio, para que o solo atinja quantidade razoável de umidade e garanta o bom pegamento das mudas. Imediatamente antes do plantio, as mudas deverão ser mergulhadas em uma solução com 1,5% de concentração de fosfato monoamônio (MAP) e 1% de concentração de cupinicida (apenas quando há presença de cupins na área), durante 1 minuto ou quando o borbulhamento (saída de gases do substrato) cessar, encharcando todo o sistema radicular e o caule das mudas até o nível do coleto. Após encharcamento, retirá-las e deixar escorrer o excesso de calda por 2 minutos. Aguardar a secagem das bandejas antes de efetuar o plantio das mudas. A adubação de plantio deve ser feita em covetas laterais, distanciada a 20 cm das mudas, ou no fundo do sulco de plantio, para evitar danos causados pelo efeito salino nas raízes da muda. A necessidade de adubação de cobertura deve levar em consideração as análises químicas do solo.



Figura 16. Plantios de teca sem o preparo do murundum (A e C) e com o murumdum (B e D) no sistema silvipastoril, na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.

Controle da mato-competição em sistemas de ILPF

A teca é particularmente sensível à competição com gramíneas e outras ervas daninhas, tanto no que se refere à disponibilidade de água, como de nutrientes e até de luz. No plantio homogêneo, a partir do segundo ano, o sombreamento proporcionado pela teca evitará, em boa parte, o desenvolvimento das plantas daninhas, reduzindo a necessidade de capinas e de roçadas. De modo geral, a partir do terceiro ano, esses tratos culturais podem ser dispensados, considerando o caso de plantio com bom desenvolvimento das árvores.

Na integração da teca com a cultura forrageira, a braquiária influencia negativamente no crescimento em altura e diâmetro da teca, quando comparada ao sistema de monocultura, incluindo neste caso também o efeito na área basal e no crescimento em classes sucessivas de diâmetro (Medeiros et al., 2019). Essa redução no crescimento pode ser explicada pela competição entre os componentes (Domingos Júnior; Coelho, 2018), restrição do desenvolvimento do sistema radicular (Schaller et al., 2003) e possíveis efeitos alelopáticos diretos e indiretos (Silva et al., 2017). Entretanto, experiências recentes (2009-2012) no Brasil confirmam que os clones de teca toleraram melhor a associação com gramíneas, como a braquiária, quando comparados às árvores obtidas de sementes (Ugalde Arias, 2013).

No sistema silvipastoril será necessário manter o coroamento da teca bem-feito apenas durante o primeiro e segundo ano após plantio. No terceiro ano, esse coroamento é mais importante para o período seco. Assim, após o período seco do terceiro ano, recomenda-se deixar o capim chegar ao pé da árvore de teca, com objetivo de potencializar a produção de forragem/carne. Mesmo que ocorra certa competição da forrageira com a teca, ela será compensada pelo efeito de bordadura no crescimento das árvores. Ainda que possa ocorrer a redução do crescimento da teca com a competição da forrageira comparada à teca no sistema silvipastoril, sem a competição com a forrageira (coroamento intenso), o sistema sob a primeira condição é compensado pelo ganho na produção da pecuária, ou seja, manter a taxa de lotação igual ou superior ao pasto sem as árvores com elevada produção de carne. Em síntese, deve-se prever o coroamento mais intenso apenas para os dois primeiros anos após o plantio e, pelo menos, uma operação de coroamento no início da terceira estação seca após o plantio.

No caso dos sistemas com o componente lavoura, além do coroamento da teca, deve-se tomar muito cuidado com a deriva no momento da aplicação dos herbicidas, na faixa destinada à produção de grãos. São recorrentes os problemas relacionados à fitotoxidez provocada por aplicação do glifosato (deriva), o que causa encarquilhamento das folhas, sintoma muito

semelhante à deficiência de boro (Figura 17). Para evitar a deriva, deve-se regular bem os implementos e utilizar bicos antideriva com indução de ar para evitar problemas e manter a barra de aplicação mais baixa e próxima ao dossel das plantas invasoras. Não se deve fazer a aplicação do herbicida se a umidade relativa do ar estiver abaixo de 50%, temperaturas acima de 30 °C e velocidade dos ventos acima de 10 km h^{-1}. Realizar a aplicação nas horas com temperaturas mais amenas do dia, com pouco vento e em dias com maior umidade do ar.

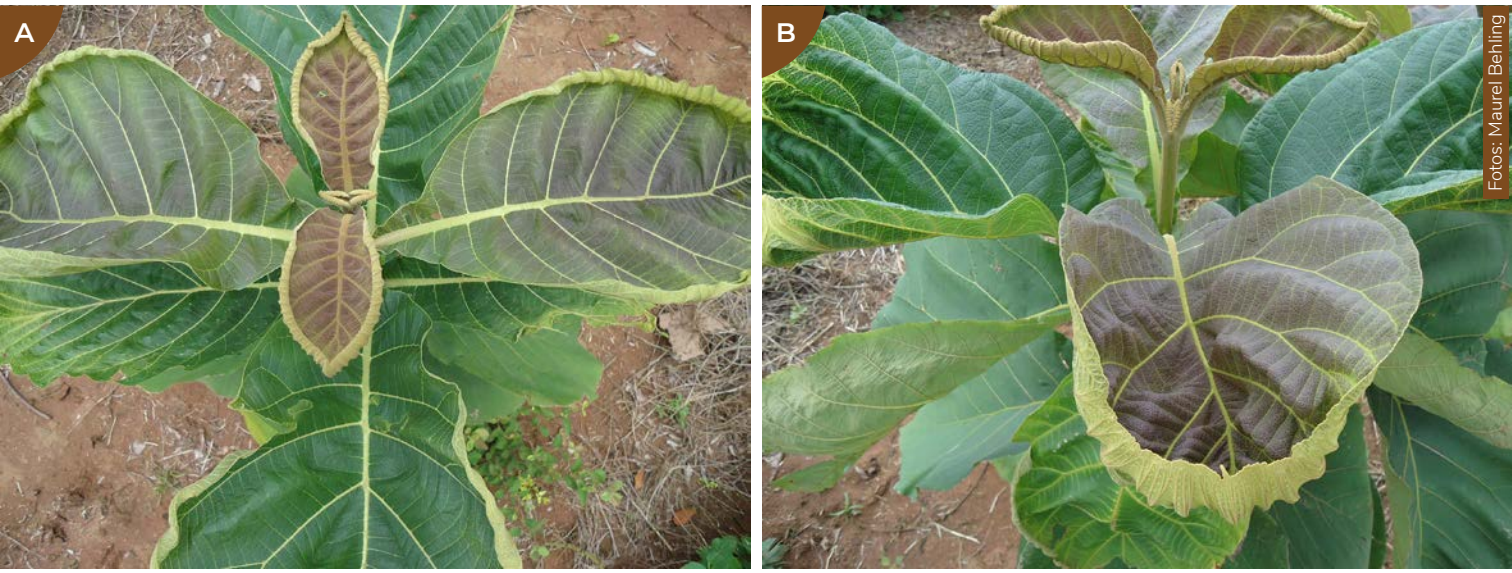


Figura 17. Detalhes de sintomas decorrentes da fitotoxidez devido à aplicação de glifosato (deriva) em área de integração lavoura-pecuária-floresta com teca, na Fazenda Brasil no município de Nova Xavantina, estado de Mato Grosso.

Insetos-pragas e doenças

Os insetos-pragas e as doenças mais importantes por causarem os maiores danos às plantações comerciais de teca, em vários países da América Tropical, são a ferrugem (*Olivea neotectonae*), a lagarta desfolhadora (*Hyblaea puera* sp.) e a dieback, síndrome da podridão-descendente da teca (Ugalde Arias, 2013). Não há relatos de danos econômicos causados por elas em sistemas integrados, mas é importante que sejam monitoradas. As formigas cortadeiras também estão se tornando um problema comum para o cultivo de teca na América Latina (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). No Brasil, os danos à teca são causados, principalmente, pelas formigas cortadeiras da espécie *Atta sexdens rubropilosa* (Peres Filho et al., 2006). O ataque ocorre em qualquer estágio de crescimento, mas é mais prejudicial nas plantas jovens, onde a desfolha da copa pode ocasionar a morte do broto apical, causando

bifurcações e retardando o crescimento da planta. Os sistemas de ILPF, devido ao menor número de árvores por área, requerem maior atenção com as formigas cortadeiras. Portanto, os formigueiros devem ser identificados e combatidos antes mesmo do plantio das mudas. A forma mais prática de controle é por meio das iscas granuladas, com o monitoramento periódico dos formigueiros remanescentes e das novas infestações. O controle antecipado de cupins também é importante, mas seu monitoramento após a implantação deve ser contínuo, assim como manejo integrado de insetos-pragas e doenças para prevenir e minimizar os danos às árvores. As práticas incluem medidas químicas, biológicas, culturais e silviculturais.

Condução da desrama em sistemas de ILPF

Conforme ocorre com algumas espécies florestais, a teca não possui arquitetura de copa favorável, fuste alto e copa pouco densa, para os sistemas de ILPF. O amplo espaçamento utilizado nos sistemas de ILPF, favorece a maior taxa de crescimento individual das árvores e estimula a emissão de ramos laterais, conferindo maior vigor e persistência aos mesmos. Como o propósito das árvores no sistema integrado é a produção de madeira limpa, sem nós, a derrama artificial (poda) é obrigatória. Ela consiste na remoção dos ramos laterais, mediante corte dos ramos rentes à sua inserção no tronco, procurando não danificar a casca, tornando a madeira livre de nós e de outras deformações.

A execução da desrama garantirá a obtenção de madeira de melhor qualidade para o mercado interno e, principalmente, o internacional, pois melhora a qualidade do fuste ao aumentar a proporção de madeira livre de nós. No entanto, por ser uma atividade cara e que pode afetar o crescimento da árvore, ela deve ser cuidadosamente planejada e executada. A estação seca tem sido a época recomendada para a desrama, realizada de forma progressiva para garantir boa relação copa viva/altura total. Todavia, constatações práticas demonstram que as desramas de teca realizadas entre novembro e maio (entre o início do período vegetativo e início do florescimento), no período da estação chuvosa no estado de Mato Grosso, têm proporcionado menor emissão de rebrota nas árvores.

As intervenções são necessárias logo após o plantio, pois algumas mudas de teca poderão emitir mais de um broto, que tomará a direção vertical e competirá com o caule principal. Desta forma, é preciso realizar a desbrota (eliminação dos brotos laterais) antes que eles engrossem muito e comprometam o alinhamento e a resistência da planta. Eventualmente, será necessário o repasse, decorridos 90 dias da primeira desbrota. Para a realização da

desbrota, deve-se fazer a seleção do caule/ramo principal ou broto mais vigoroso quando ele alcançar 50 cm de altura e não ultrapassar 2-3 cm de diâmetro, com posterior eliminação dos brotos ladrões (Figura 18). A retirada dos brotos deve ser feita com tesoura de poda pequena e afiada, nunca quebrando-os com a mão, pois isso acaba danificando o broto selecionado como apto.

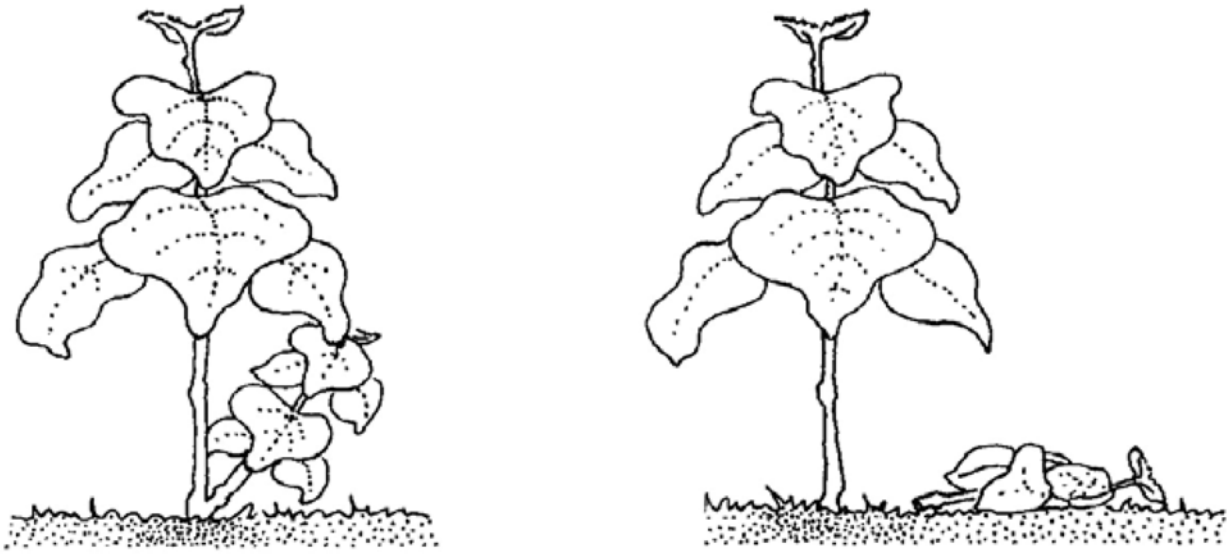


Figura 18. Detalhes da realização da desbrota da teca após emissão de brotos laterais.
Fonte: Manual do cultivo da teca (2006).

Após a fase de desbrota, a primeira desrama é recomendada quando as árvores atingirem de 3-4 m de altura (± 1,5 anos), com a remoção dos ramos localizados no terço inferior da altura total das árvores. A segunda desrama é realizada entre o segundo e terceiro ano, com a remoção dos ramos até metade da altura total da árvore. Em seguida, é feita a terceira desrama até 7 m do fuste, limitada a até dois terços da altura total da árvore ou 50% da altura de copa. As demais desramas são recomendadas sempre que os galhos atingirem 2,5-3,0 cm de diâmetro na base até a obtenção de fuste livre com 10-12 m de altura (visando à obtenção comercial de 4-5 toras de 2,3 m de comprimento), pelo menos para as melhores árvores. A altura da poda deve ser elevada em intervalos determinados, com base no comprimento de tora desejado; assim, para obter pelo menos quatro toras (2,3 m de comprimento), os fustes comerciais livres devem ter pelo menos 10 m (Ugalde Arias, 2013) e para cinco toras devem ter, pelo menos, 12 m. Experimentos estão sendo realizados no Brasil para estudar os efeitos biológicos e financeiros da desrama acima de 6 m, tanto nos plantios homogêneos quanto nos sistemas silvipastoris.

As intervenções de desramas devem ser realizadas de modo que a remoção dos galhos se faça antes que eles atinjam grandes proporções e drenem quantidade substancial de assimilados da árvore, reduzindo o crescimento em diâmetro do tronco e a produção de madeira serrada de qualidade. Os galhos grossos também podem acentuar a conicidade do tronco ou produzir alguma sinuosidade ao longo do tronco, prejudicando o rendimento do seu desdobro. Por isso, além de haver a preocupação em avaliar a forma da copa, é preciso considerar a distribuição vertical dos galhos de diferentes dimensões. A condução das desramas requer atenção especial do produtor. Em muitas situações, observa-se que as restrições edafoclimáticas para o bom desenvolvimento da teca são agravadas por falhas na condução das desramas das árvores, ou seja, a vocação e capacitação do produtor são fatores importantes no processo para obtenção de madeira com boa qualidade (Figura 19).



Figura 19. Comparação entre duas áreas de teca no sistema de integração, com três anos de idade e condições edafoclimáticas semelhantes, porém com manejos distintos de controle da mato-competição, controle de formigas e desramas.

Operacionalmente, a realização das desramas nos sistemas integrados de produção agropecuária é feita em três etapas distintas, a desrama baixa, intermediária e alta são realizadas anualmente de forma sequencial (Figura 20):

Desrama baixa: realizada por terra com auxílio de podão até 3,5 m de altura, a partir dos 1,5 anos até o corte raso das árvores. O rendimento operacional médio é 350 árvores dia^{-1} e custava menos de R$ 1,00 árvore^{-1}, em 2020.

Desrama intermediária: realizada com o auxílio de carretinha e moto-poda na altura entre 3,5-7,0 m de altura (carretinha à altura de 3,30 m do solo + 3,5 m da moto-poda), feita a partir do terceiro ano até o corte raso das árvores. O rendimento operacional médio é 250 árvores dia^{-1} e custava R$ 2,15 árvore^{-1}, em 2020.

Desrama alta: realizada com o auxílio de plataforma automotriz entre 7-12 m de altura (plataforma de elevação com altura ajustável), feita a partir do quinto ano (para elevar o fuste primeiro para 9 m) até o corte raso das árvores, com o objetivo de atingir os 12 m de altura de fuste. O rendimento operacional médio é 200 árvores dia^{-1} e custava R$ 4,00 árvore^{-1}, em 2020 (Figura 20).



Figura 20. Detalhes das etapas de realização de desramas (baixa, intermediária e alta) em árvores de teca, em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.

Os primeiros seis anos podem ser definidos como o período de formação do fuste. Posteriormente a essa fase, são realizadas as desramas de manutenção, ou seja, as desramas baixa, intermediária e alta são realizadas anualmente, de forma sequencial, desde a base da árvore até os 12 m de fuste. Elas são realizadas somente nas árvores com potencial de aproveitamento para serraria.

Além de produzir madeira livre de nós, observa-se que as árvores adequadamente desramadas apresentam fustes cilíndricos, melhor forma de tronco e tronco menos retorcido. Possíveis desvantagens incluem menor crescimento das árvores desramadas e redução do volume de madeira quando as toras são serradas (Jerez-Rico; Coutinho, 2017). Ela deve ser realizada com os galhos ainda pequenos/finos (2,5-3,0 cm) para reduzir danos à madeira e custos, independentemente da época do ano. No caso de galhos com diâmetros superiores a 3 cm, a desrama deve ser realizada na época de menor crescimento das árvores (época seca). A desrama em alturas que sejam superiores a dois terços da altura total da árvore deve ser evitada, pois a experiência tem demonstrado a ocorrência de queda da produtividade quando se realizam podas mais intensas, por causa da redução da área foliar, além de induzir intensa rebrota no tronco da árvore devido à perda de dominância apical. A recomendação geral é não remover mais que 50% da altura de copa, podendo, em casos excepcionais, ser limitada a dois terços da altura total da árvore.

As ferramentas mais adequadas para a realização da desrama são: serrote de poda, moto-podas e motosserra. Até a altura de 3,5 m, utiliza-se serrote acoplado à haste de alumínio telescópica. Para alturas entre 3,5-7,0 m são utilizadas diferentes soluções pelos produtores e uma delas é a carreta adaptada acoplada ao trator, sobre a qual o operador da moto-poda, munido de equipamento de proteção individual (EPI), realiza a desrama. Acima de 7 m são usadas plataformas de construção automotrizes, onde duas pessoas (operador da plataforma e operador de motosserra) realizam o trabalho de 12 pessoas, na condução de desramas da teca. A desrama se faz obrigatória para agregar valor à madeira de teca, como também manter o número de árvores para serraria. Possibilita também aumentar a incidência de luz na forrageira e melhorar a interação entre os componentes. Nos arranjos onde o desbaste também é necessário, ele tem o principal propósito de favorecer as melhores árvores para produção de toras.

Entrada dos animais nos sistemas silvipastoris com teca e o conforto térmico

Nas regiões com vocação agrícola, recomenda-se que a lavoura de grãos seja conduzida até o terceiro ano ou até que as árvores atinjam porte ideal para a entrada dos animais no sistema, sendo convertido para o sistema silvipastoril. Nas regiões tradicionais de pecuária, sem possibilidade de fazer agricultura, inicia-se o sistema silvipastoril com a expectativa de entrada dos animais no sistema entre 10-18 meses após o plantio da teca, dependendo da

taxa de crescimento das árvores. Os animais devem entrar no sistema quando a maioria das árvores estiver com altura de 3 m e DAP entre 3-4 cm. Neste caso, recomenda-se inicialmente a entrada de animais jovens (até cerca de 220 kg). No caso da implantação do sistema silvipastoril, sem reforma da pastagem, antes do plantio, é feito o rebaixamento do pasto por meio de maior pressão de pastejo (maior lotação animal). Após o plantio das árvores de teca, a pastagem é vedada até que as árvores atinjam o porte mínimo necessário para a entrada dos animais no sistema, conforme descrito anteriormente. A entrada de animais adultos só deve ocorrer após o segundo ano de plantio da teca.

O conforto térmico para os animais consiste em uma das principais críticas ao sistema silvipastoril com teca. Por se tratar de espécie caducifólia, no período seco, o mais crítico para os animais, não haveria disponibilidade de sombra adequada para os bovinos. No entanto, a época de desfolha da teca varia de abril a agosto e depende da qualidade do sítio florestal. Por exemplo, enquanto no município de Jangada, MT, a teca aborta suas folhas em abril devido ao solo raso, em regiões de solos profundos, ela irá ocorrer apenas em agosto, como acontece nos Nitossolos do município de Tangara de Serra, MT. Logo, o período sem a sombra das árvores é menor em área de maior aptidão para a teca. Assim, em regiões mais restritas para o seu desenvolvimento, o conforto térmico para os animais poderá ser garantido mediante a inserção de uma segunda espécie florestal perenifólia. Como exemplo pode ser citado o consórcio de teca com o eucalipto, onde a cada cinco linhas de teca poderá ser inserida uma linha de eucalipto para perenizar a sombra no sistema. Estudos recentes têm demonstrado a possibilidade do consórcio de teca com mogno-africano (*Khaya* sp.), outra espécie perenifólia que resolveria o problema de ausência de sombra no período seco do ano.

Idade de rotação da teca no sistema de ILPF

Para a produção de madeira nobre de teca, a idade ideal de colheita depende não apenas do volume do talhão, mas do grande volume de árvores individuais (fustes de grandes diâmetros, comprimentos adequados e sem defeitos) e da qualidade da madeira. As considerações sobre a qualidade da madeira incluem tamanho e frequência dos nós, defeitos e suas propriedades físico-mecânicas, tais como resistência, durabilidade e estabilidade. Além disso, a atratividade (cor da madeira, grã, entre outros) é muito importante. Novamente, as considerações financeiras são críticas, dada à necessidade de retornos rápidos, embora preocupações ambientais como a redução do desmatamento ilegal e questões de percepção possam influenciar as decisões sobre esse assunto.

O tempo de rotação dos plantios de teca está compreendido entre 80-120 anos na sua região de origem e entre 18-25 anos no Brasil. O ciclo de 16 anos é considerado o mínimo para obter o rendimento final da madeira, com qualidade mínima aceitável para atender aos padrões do mercado internacional. Por exemplo, na Índia e na Indonésia, as empresas estatais usam rotações entre 60-80 anos para produzir madeira de melhor qualidade para laminação. Por outro lado, na América Latina, rotações de 20 anos são preferidas por empresas privadas e pequenos proprietários que precisam de retornos rápidos (Jha, 2016).

O crescimento da teca em sistemas integrados é favorecido e semelhante aqueles de árvores da bordadura nos plantios homogêneos, ou seja, as árvores crescem com menor competição intraespecífica. Os resultados observados no campo indicam boas perspectivas para a redução do período de rotação da teca ou um substancial aumento no volume de madeira produzido no ciclo de corte tradicional de 20-25 anos. A expectativa em sistemas silvipastoris, utilizando clones melhorados de teca, é realizar o corte raso das árvores entre 18-20 anos.

Risco de incêndios e a teca

A teca é uma espécie tolerante ao fogo, desde que não seja intenso ou não se repita com frequência no mesmo talhão. As árvores jovens podem sofrer danos graves e permanentes, porque suas cascas não são suficientemente espessas. Além disso, o fogo estimula o crescimento de brotos laterais na parte inferior do fuste, podendo deixar manchas na madeira devido à entrada de patógenos através das lesões ocasionadas na base do tronco. As lesões provocadas pelo fogo na base tronco, dependendo da intensidade, podem atingir mais de 1,5 m de altura (fora ou dentro da árvore). Isso ocorre principalmente em plantações desbastadas, onde grandes ramos foram deixados como resíduos, os quais contribuem para elevar a intensidade do fogo. Além disso, o fogo pode causar perdas de nutrientes devido à queima de matéria orgânica e de serapilheira.

As árvores de teca no campo representam grande capital imobilizado e o fogo é sempre um risco eminente ao investimento. Assim, a propriedade deve ter uma equipe organizada de prevenção e patrulha de incêndio com equipamentos e infraestrutura necessários (torres de observação, dispositivos de comunicação e outros) para prevenção e combate ao fogo. É também de extrema importância que sejam feitos aceiros, margeando a área do sistema integrado, para evitar a entrada de fogo na área, que pode causar grandes prejuízos.

Retorno econômico da teca nos sistemas de ILPF

O retorno do investimento feito pelos produtores que implantam a teca nos sistemas integrados de produção agropecuária é maior que aqueles que utilizam sistemas exclusivos de lavoura, pecuária ou plantios homogêneos da teca. Essas conclusões são resultado da primeira fase de um projeto iniciado em 2013, por meio da parceria entre Embrapa, Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (Imea) e Associação Rede ILPF. A avaliação está sendo realizada em cinco URTEs com sistemas de ILPF em Mato Grosso. As informações econômicas coletadas nessas propriedades, a partir da organização dos custos baseada no Sistema ABC (sigla do inglês Custo Baseado em Atividades), evidenciou a importância do bom planejamento para o melhor retorno financeiro para o produtor. Embora os dados confirmem a viabilidade econômica dessas URTEs, a correta definição da configuração do sistema e o estudo prévio de mercado são determinantes para garantir a competitividade do sistema.

A comparação entre as cinco URTEs, na primeira etapa de avaliação econômica, mostrou lucratividade variando de R$ 0,20 a R$ 3,70 para cada R$ 1,00 investido na produção. O Valor Presente Líquido Anual (VPLA), que é a receita por hectare a cada ano, variou de R$ 152,40 a R$ 2.175,00 (Figura 21). Grande parte das variações entre os valores são explicados por questões climáticas, localizações das fazendas e oscilações de câmbio, de mercado e de custos de produção. Entretanto, a configuração do sistema escolhido e os produtos gerados também fizeram diferença, principalmente no valor agregado ao componente florestal.

O melhor resultado, por exemplo, foi obtido pela Fazenda Bacaeri, com o sistema silvipastoril com teca. O bom preço da teca e a existência de mercado garantido para a produção elevaram a lucratividade e a renda do produtor. Já na Fazenda Brasil, mesmo com a rentabilidade da soja no início do sistema e da pecuária na sequência, a falta de mercado para a teca de ciclo curto reduziu o índice de lucratividade do sistema (Figura 21).

Na comparação dos dois sistemas com teca, das Fazendas Bacaeri e Gamada, também se observou diferença considerável nos resultados econômicos. Nesse caso, a estratégia de inserção da teca no sistema foi determinante. Na Fazenda Bacaeri foi adotada a estratégia de adição/composição de renda, com a teca implantada em linhas simples (20 m x 3 m), com número de árvores na implantação semelhante ao número de árvores no final do ciclo, interferindo muito pouco na produtividade da pecuária, estratégia essa mais conservadora (segura) frente às crises do mercado madeireiro (maior resiliência

comercial). Já na Fazenda Gamada, foi utilizada a estratégia de substituição de renda, onde as árvores de teca interferiram significativamente na produtividade dos demais componentes. Neste caso, a teca foi implantada em renques de linhas triplas espaçados entre si por 20 m (20 m + 3'(3 m x 3 m)), ou seja, o número de árvores na implantação é muito maior que o número de árvores no final do ciclo, com a necessidade de realizar, pelo menos, dois desbastes intermediários antes do corte raso das árvores.

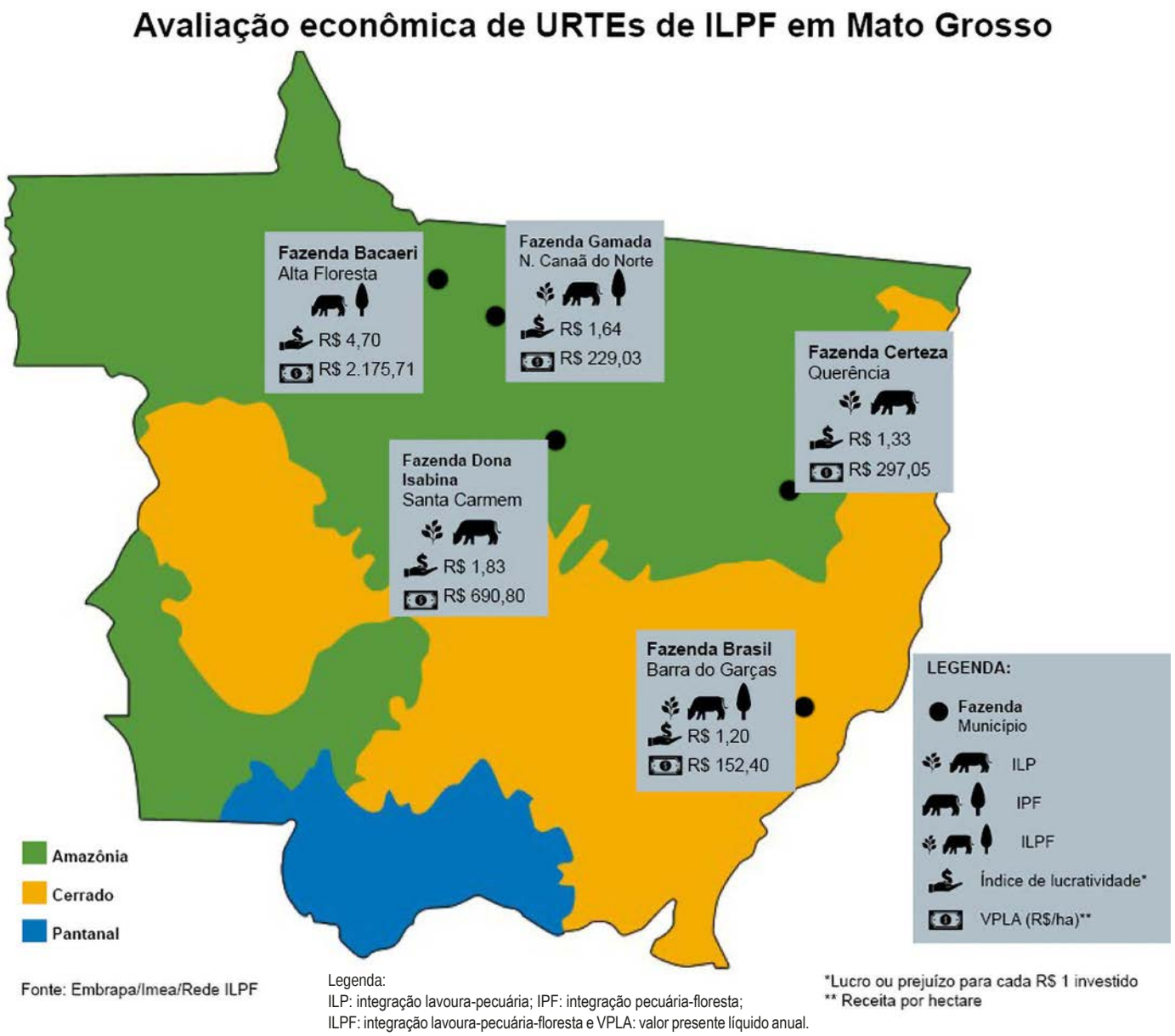


Figura 21. Avaliação econômica de Unidades de Referência Tecnológica e Econômica (URTE) com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em Mato Grosso.

Na Fazenda Gamada, apesar da integração com a lavoura nos três primeiros anos (sistema silviagrícola) e, posteriormente, com a pecuária (sistema silvipastoril), vários fatores técnicos contribuíram para a menor lucratividade (R$ 0,64 para cada R$ 1,00 investido) quando comparados à Fazenda Bacaeri. A redução na produção de grãos no terceiro ano e a redução gradativa na produtividade da pecuária a partir do terceiro ano, devido a faixa imobilizada pelas árvores e o sombreamento excessivo, explicam a menor lucratividade do sistema. Deve-se também considerar o baixo valor agregado na madeira de teca obtida no primeiro desbaste (mourões de cerca).

Além do maior retorno econômico, do lado ambiental, os sistemas integrados com teca também podem ser considerados como sumidouros de carbono. A possibilidade de receber créditos em sistemas de certificação, tais aqueles da marca-conceito Carne Carbono Neutro® (CCN®), para o eucalipto na ILPF, será uma alternativa que agregará maior valor ao sistema. Neste aspecto, a teca garante maiores vantagens em relação ao eucalipto, pelo maior tempo de crescimento das árvores no campo, além da destinação da madeira para fins nobres, com produtos de ciclo de vida mais longo.

Considerações finais

A teca é uma das espécies exóticas de maior potencial econômico para uso em sistemas integrados no Brasil. Resultados de avaliações, ainda que iniciais, apontam como promissoras as vantagens de produzir madeira de teca nestes sistemas, especialmente na modalidade silvipastoril, compatibilizando a produção agrícola e, principalmente, a pecuária com a produção florestal. Na obtenção de madeira de teca no ciclo de 18-20 anos, em regiões com aptidão agrícola, a agricultura viabiliza a implantação do sistema e o desenvolvimento inicial das árvores. Dois a três anos após o plantio das árvores, inicia-se a atividade pastoril que é conduzida até o corte raso. Já em regiões tradicionais de pecuária, o foco é o sistema silvipastoril com vedação da pastagem na fase inicial (10-18 meses), respeitando, assim, princípios básicos de manejo sustentável da propriedade rural. É importante analisar as condições edafoclimáticas da região, ou seja, se o solo e o clima são favoráveis para o cultivo da teca em sistemas integrados de produção agropecuária.

Vale reforçar que as adoções de técnicas adequadas na implantação e no manejo da teca são fundamentais para o sucesso do sistema, uma vez que as árvores promovem interações ecológicas com os demais componentes, considerando que a necessidade de manejar a copa, para obter madeira de qualidade, favorece a sinergia entre a teca e os

demais componentes do sistema, principalmente o componente forrageiro. Nesse contexto, as técnicas silviculturais devem ser criteriosamente conduzidas para que as vantagens ecológicas e econômicas da produção integrada da teca sejam alcançadas.

As receitas adicionais geradas, a valorização da propriedade, a biodiversidade criada e inúmeras outras vantagens não deixam dúvidas quanto aos benefícios desse sistema aos proprietários e ao meio ambiente. O interesse de produtores pelos sistemas agrossilvipastoris, principalmente o silvipastoril, tem aumentado no Brasil e muitas instituições de pesquisa e ensino têm destacado esta atividade. As seguintes questões são críticas para o sucesso do plantio de teca em sistemas ILPF, para produzir madeira nobre de qualidade:

a) Seleção de bons sítios e de material geneticamente superior de teca (clones), além de preparar adequadamente o solo;

b) Planejamento cuidadoso da gestão do componente florestal, incluindo espaçamento inicial, previsão de desramas e desbastes (quando necessários) e idade de colheita, com base em considerações biológicas e financeiras, para obter os produtos desejados no menor tempo possível;

c) Definição de arranjos (espaçamentos maiores que 4 m entre árvores) que não demandem desbaste precoce das árvores (3-8 anos), evitando-se assim que não haja mercado para esses produtos, pois o investimento realizado no corte de árvores de pouco ou nenhum valor agregado onera o sistema de produção;

d) Execução no tempo certo de várias operações, tais como plantio, controle de cupins e formigas, desbrotas, adubações, desramas, operações de desbaste e corte final das árvores;

e) Implantação e execução de um plano rigoroso de desramas, obrigatório, para obter madeira de alta qualidade, livre de nós, visando ofertá-la aos mercados interno e, principalmente, o internacional;

f) Avaliação da necessidade de nutrientes da teca ao longo da rotação, padronizando protocolos para avaliar as respostas de fertilização e sua aplicação para o nível operacional;

g) Implantação de rigoroso manejo integrado de insetos-pragas e de doenças para evitar perdas de produtividade de madeira;

h) Implantação de um bom plano de monitoramento que ajude não só a conhecer a dinâmica de crescimento e produtividade, mas também auxilie no acompanhamento da aplicação correta e oportuna das operações silviculturais para atender aos objetivos do manejo desejado. O estabelecimento de redes de parcelas permanentes e a medição de variáveis adicionais são necessários para obter informações mais precisas, capazes de prever o crescimento e a produção, especialmente em questões de qualidade, como forma do fuste e defeitos que podem afetar o volume comercial de madeira.

Apesar do mito de que "a teca enriquece seu plantador", deve-se ter em mente que o mercado para a madeira da teca existe, é atrativo e seguro, porém o lucro só será obtido com a utilização de tecnologias apropriadas, cuidados ímpares e muita qualidade em todas as operações florestais e de logística na cadeia de suprimento. Não basta apenas plantar as árvores de teca de qualquer jeito no sistema integrado e ficar esperando que elas cresçam para que os lucros brotem para o produtor. É necessário investir em tecnologia, insumos adequados, operações corretas e eficientes, constante monitoramento fitossanitário e garantir produtividade e qualidade da madeira ao longo de todo o ciclo de rotação. Se isso tudo não for feito, a decepção será grande. As experiências bem-sucedidas apontam que, como em quaisquer outros negócios, "os olhos do dono não podem se descuidar". Tampouco, o empreendedor não deve se omitir ou acreditar ingenuamente no que, às vezes, lhe contam de vantagens ou de certas mágicas que essa atividade possa oferecer.

Referências

ALAO, J. S.; SHUAIBU, R. Agroforestry practices and concepts in sustainable land use systems in Nigeria. **Journal of Horticulture and Forestry**, v. 5, n. 10, p. 156-159, 2013. DOI: https://doi.org/10.5897/JHF11.055.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Beef Report**: perfil da pecuária no Brasil. 2020. Disponível em: http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/. Acesso em: 02 jun. 2020.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103901/1/balbino-01.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

BERTOMEU, M. Growth and yield of maize and timber trees is smallholder agroforestry systems in Claveria, northern Mindanao, Philippines. **Agroforestry Systems**, v. 84, n. 1, p. 73-87, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-011-9444-x.

BERTOMEU, M.; ROSHETKO, J. M.; SUBEKTI, R. Optimum pruning intensity for reducing crop suppression in a Gmelina-maize small holder agroforestry system in Claveria, Philippines. **Agroforestry Systems**, v. 83, n. 2, p. 167-180, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-011-9435-y.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, n. 1, p. 271-283, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres, 2006. 32 p. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

CAÑADAS-L., Á.; ANDRADE-CANDELL, J.; DOMÍNGUEZ-A., J.; MOLINA-H., C.; SCHNABEL-D., O.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J.; WEHENKEL, C. Growth and yield models for teak planted as living fences in Coastal Ecuador. **Forests**, v. 9, n. 2, p. 1-14, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/f9020055.

COSTA, D. M. C.; FARIAS, J. B.; ANTONIO, D. H.; BEHLING, M. Crescimento inicial da teca em resposta ao sistema de preparo do solo para o plantio. In: CONGRESSO FLORESTAL DE MATO GROSSO, 1., 2015, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: UFMT, 2015. v. 1. p. 71-72. Disponível em: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/pstorage-zenodo-6467619457/21083208/ANAISICFMT2015.pdf. Acesso em: 1 dez. 2020.

DOMINGOS JÚNIOR, F. A.; COELHO, L. Effect of brachiaria grasson vegetative development of teak. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 1-6, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.012615.

FAO. Food and Agriculture Organization. **The future of teak and the high-grade Tropical Hardwood Sector**: planted forests and trees working paper FP/44E, 2009. Roma, 2009. 47 p. Disponível em: http://www.fao.org/3/k6549e/k6549e00.pdf. Acesso em: 16 nov. 2020.

GAAFAR, A. M.; SALIH, A. A.; LUUKKANEN, O.; EL FADL, M. A.; KAARAKKA, V. Improving the traditional Acacia senegal-crop system in Sudan: the effect of tree density on water use, gum production and crop yields. **Agroforestry Systems**, v. 66, n. 1, p.1-11, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-005-2918-y.

GYI, K. K.; TINT, K. Management status of natural teak forests. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK: TEAK FOR THE FUTURE, 2., 1995, Yangon, Myanmar. **Proceeding** [...]. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 1998. p. 27-48.

GOH, D. K. S.; MONTEUUIS, O. Behaviour of the "YSG Biotech TG1-8" teak clones under various site conditions: first observations. **Bois et Forets dês Tropiques**, v. 66, n. 311, p. 5-19, 2012.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J. FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J-P. D.; LACLAU, J-P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, n. 1, p. 6-27, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019 = Report 2019**. Brasília, DF, 2019. 79 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

JHA, K. K. What should be the rotation age and harvest management in teak? **The Indian Forester**, v. 142, n. 4, p. 309-316, 2016.

JEREZ-RICO, M.; COUTINHO, S. A. Planted teak forests. KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

LEROY, C.; SABATIER, S.; WAHYUNI, N. S.; BARCZI, J. F.; DAUZAT, J.; LAURANS, M.; AUCLAIR, D. Virtual trees and light capture: a method for optimizing agroforestry stand design. **Agroforestry Systems**, v. 77, n. 1, p. 37-47, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-009-9232-z.

MEDEIROS, R. A.; DOMICIANO, C. A. R.; LESEUX, V.; SOARES, A. A. V.; FILHO, A. A. T.; SILVA, F. C.; LEITE, H. G. Growth and structural development of *Tectona grandis* in different cultivation systems in Brazil. **The Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 8, p. 138-155, 2019. DOI: https://doi.org/10.5539/jas.v11n8p138.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VENDRÚSCOLO, D. G. S.; SILVA, F. T. Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* L. f. em sistema Taungya. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 893-903, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500012.

MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; NGUYEN, D. K.; LAITY, R. **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2015. 92 p. (ACIAR. Technical reports, 85). Disponível em: https://aciar.gov.au/publication/technical-publications/planted-teak-global-production-markets. Acesso em: 1 dez. 2020.

MORETTI, M. S.; TSUKAMOTO FILHO, A. D. A.; COSTA, R. B. da; RONDON NETO, R. M.; MEDEIROS, R. A.; SOUSA, R. A. T. de M. Crescimento inicial de plantas de teca em monocultivo e sistema Taungya com milho em Figueiropolis d'Oeste, Estado de Mato Grosso. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 269-277, 2014.

NOOR, H. Growth of teak (*Tectona grandis*) on lateritic soil at Mata Aver Forest Reserve, Perlis. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 15, n. 1, p. 190-198, 2003.

PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **AgrarianAcademy**, v. 1, n. 1, p. 127-145, 2014.

PERES-FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. **A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. no estado de Mato Grosso**. Piracicaba, SP: IPEF, 2006. 58 p.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L. f. no município de Monte Dourado, PA. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 301-307, 2011.

SCHALLER, M.; SCHROTH, G.; BEER, J.; JIMÉNEZ, F. Root interactions between young *Eucalyptus deglupta* trees and competitive grass species in contour strips. **Forest Ecology and Management**, v. 179, n. 1-3, p. 429-440, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00534-0.

SCHUHLI, G. S.; PALUDZSZYN FILHO, E. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217-230, 2010. DOI: https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.63.217.

SILVA, F. R.; SILVA, V. S. M.; MIRANDA, S. O. Crescimento de *Tectona grandis* em uma plantação no município de Alta Floresta, Mato Grosso. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 577-588, 2014. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v44i4.29699.

SILVA, L. M. I. da; SILVA, M. J. da; ROCHA, J. S.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; STOLF-MOREIRA, R.; OLIVEIRA, H. C. Potential allelopathic effect of Brachiaria decumbens root exudate son neotropical tree seedlings. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 29, n. 4, p. 177-186, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s40626-017-0093-y.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 32). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568533/1/cirtec32.pdf. Acesso em: 14 mar. 2021.

SMIT, L.; OESTREICH FILHO, E. Key factors for optimizing teak growth, a case study in Tangara da Serra, Brazil. Conference Presentation. 2014. Disponível em: https://teaknet.org/download/teaknet2014/Session%20IV/conf_2.pdf. Acesso em: 16 fev. 2021.

SUN, Y.; CAO, F.; WEI, X.; WELHAM, C.; CHEN, L.; PELZ, D.; LIU, H. An ecologically based system for sustainable agroforestry in Sub-Tropical and Tropical Forests. **Forests**, v. 8, n. 4, p. 102, 2017. DOI: https://doi.org/10.3390/f8040102.

TAKIZAWA, F. H. Brasil: importante player mundial na produção de teca de plantações. **Revista Opiniões**, v. 16, n. 58, p. 50-51, 2020.

TAKIZAWA, F. H.; COUTINHO, S. de A. A cultura e os aspectos econômicos. In: TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. (ed.). **Teca**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2022. p. 9-27.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 5-14, 2009. DOI: https://doi.org/10.4336/2009.pfb.59.05.

UGALDE ARIAS, L. A. (ed.) **Teak**: new trends in silviculture, commercialization, and wood utilization. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforestry, 2013. 552 p.

VILELA, L.; PULROLNIK, K. Segurança alimentar e a sustentabilidade. **Revista Opiniões**, v. 12, n. 40, p. 12-14, 2015.

ZANIN, E.; BICHEL, A.; MANGILLI, L. Bem-estar de vacas leiteiras em sistema silvipastoril. **Pubvet**, v. 10, n. 5, p. 381-387, 2016. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n5.381-387.



11

Geotecnologias aplicadas aos cultivos de teca

Allan Libanio Pelissari
Luciano Rodrigo Lanssanova
Carla Krulikowski Rodrigues Pelissari

Introdução

Os primeiros plantios comerciais de teca no Brasil foram cultivados ao final dos anos de 1960. Entretanto, somente na última década, observou-se significativa evolução nas tecnologias aplicadas à condução dos povoamentos. Esta evolução é expressiva na silvicultura, no melhoramento genético e no manejo florestal. As geotecnologias, como os sensores ópticos, os sistemas de varredura a laser, os veículos aéreos não tripulados e a geoestatística, são também exemplos das principais inovações que visam suprir a demanda por informações que fundamentem regimes de manejo e tratos silviculturais.

As geotecnologias compreendem um conjunto de técnicas que objetivam avaliar os recursos florestais em escalas espacial e temporal. O sensoriamento remoto, por meio de sensores ópticos de satélites, fornece dados para atender à crescente demanda por informações que auxiliem o manejo florestal (White et al., 2016), ao complementar os levantamentos terrestres em nível de árvore e de floresta (Dash et al., 2017). Os sistemas de varredura a laser (LiDAR), principalmente os terrestres, oferecem, aos inventários florestais, os detalhes espaciais necessários à compreensão dos atributos de uma floresta (White et al., 2016), possibilitando a reconstituição do perfil do fuste de árvores e a posterior estimação de variáveis alométricas (Yu et al., 2013).

Os sensores acoplados em veículos aéreos não tripulados (VANTs) possibilitam mensurar dados de povoamentos florestais por meio de imagens de alta resolução, muitas vezes não disponíveis em fontes aéreas e espaciais, visando especialmente à caracterização detalhada de árvores individuais (Hentz et al., 2018). Por fim, a geoestatística permite estimar espacialmente os atributos de uma floresta a partir de uma amostra, muitas vezes representada por inventários florestais. Para isso, variáveis de crescimento, de produção e edáficas são espacialmente modeladas por meio de um conjunto de procedimentos estatísticos, para mapeamentos em locais não mensurados (Pelissari et al., 2014a).

As aplicações das geotecnologias às florestas de teca visam amparar a tomada de decisão ao manejo espacialmente diferenciado dentro do contexto da silvicultura de precisão (Figura 1). Destaca-se, por exemplo, o manejo dos atributos químicos do solo (Pelissari et al., 2012; 2014a; Gil et al., 2018; Macedo Neto et al., 2020), a mensuração e a predição de variáveis em níveis de árvore e de povoamento (Purwanto et al., 2009; Upgupta et al., 2015; Behera et al., 2016; Aguilar et al., 2019; Santos et al., 2019b; Rinnamang et al., 2020), o dimensionamento de desbastes quanto à intensidade e à frequência (Pelissari et

al., 2014b), a condução de povoamentos para múltiplos produtos da madeira (Pelissari et al., 2017), a modelagem do sítio e o mapeamento da capacidade produtiva local (Pelissari et al., 2015; Kusnai et al., 2016), a presença de distúrbios fisiológicos (Santos et al., 2020) e a detecção de pragas (Santos et al., 2019a).

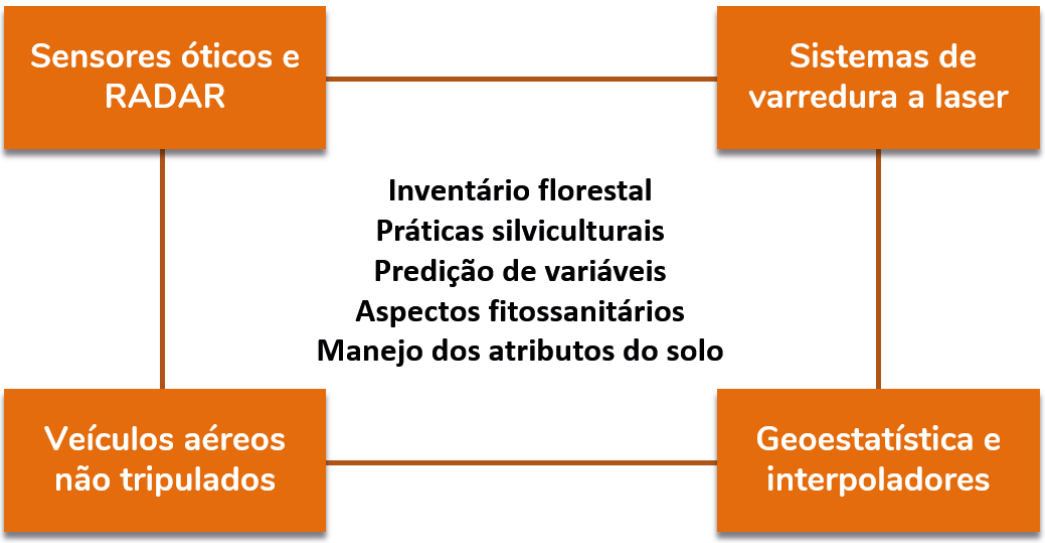


Figura 1. Principais geotecnologias e algumas aplicações em plantios de teca.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Este capítulo apresenta as principais geotecnologias aplicadas ao manejo da teca. Após uma extensiva revisão bibliográfica, publicações científicas com aplicações práticas foram consultadas para fundamentar a seleção das técnicas. Nesse sentido, foram destacadas as técnicas de sensoriamento remoto, por meio de sensores ópticos e Radio Detection And Ranging (RADAR), os sistemas de varredura a laser terrestre na digitalização em terceira dimensão de árvores e na extração de variáveis dendrométricas, os VANTs associados à fotogrametria em imagens de alta resolução e a interpolação espacial por meio métodos geoestatísticos.

Além disso, procurou-se não apenas descrever as vantagens das geotecnologias como também abordar as principais limitações constatadas. É comum gestores florestais buscarem técnicas inovadoras para reduzir ou eliminar custos, principalmente, de atividades de campo. Como exemplo, os inventários florestais são um dos principais alvos, em que constantemente se propõem utilizar as variáveis de sensoriamento remoto como únicas preditoras de atributos do povoamento. Essa relação se mostra, por vezes,

fraca à moderada em decorrência da baixa correlação entre as variáveis preditoras e as respostas, em que, recentemente, também foi constatada em nível espacial para a teca (Pfutz, 2020). Contudo, a combinação dessas variáveis com as tradicionais pode se mostrar satisfatória para a estimação do crescimento e da produção florestal, carecendo de estudos para teca.

Sensores óticos e RADAR

Como as demandas dos inventários florestais continuam a crescer em um contexto de redução de custos com operações de campo, em que praticamente todo inventário está associado a algum mapa para basear cálculos de áreas e posterior extrapolação das estimativas médias obtidas, as tecnologias de sensoriamento remoto se mostram cada vez mais importantes nos levantamentos de dados (White et al., 2016). Para isso, sensores ópticos com diferentes resoluções espaciais são empregados nos levantamentos florestais (Tabela 1), possibilitando mensurar atributos de povoamentos para diversos fins.

Tabela 1. Nomenclatura da resolução espacial de alguns sensores ópticos.

Nomenclatura	Resolução espacial (m)	Exemplo de sensores ópticos
Resolução espacial muito alta (Very high spatial resolution)	< 1	QUICKBIRD, WORLDVIEW-1, WORLDVIEW-2
Resolução espacial alta (High spatial resolution)	1-10	IKONOS, SPOT
Resolução espacial média (Medium spatial resolution)	10-100	LANDSAT-8, ASTER, AWIFS, SENTINEL-2, CBERS-4
Resolução espacial baixa (Low spatial resolution)	100-1.000	MODIS, MERIS
Resolução espacial muito baixa (Very low spatial resolution)	> 1.000	AVHRR, GOES

Fonte: Adaptado de White et al. (2016) e Wulder et al. (2008).

Para o planejamento adequado da condução dos povoamentos florestais, a obtenção de informações confiáveis corresponde ao primeiro passo a ser realizado. Nesse contexto, visando ao monitoramento da sanidade dos povoamentos, técnicas de sensoriamento remoto com sensores ópticos de satélites foram empregadas com sucesso para detectar distúrbios fisiológicos em povoamentos de teca, por meio da quantificação da dinâmica das copas das árvores. Os indivíduos sadios são aqueles que apresentam alta absorção de pigmento foliar na faixa espectral do vermelho e alta reflectância no infravermelho próximo. Nesse sentido, Santos et al. (2020) propuseram uma metodologia para predizer a dinâmica da copa das árvores de teca, por meio de imagens multiespectrais derivadas do satélite Sentinel-2 MSI no nível 1C, bem como por meio de imagens fotográficas hemisféricas do dossel com a câmera digital DSLR (Digital Single Lens Reflex) e o adaptador de lentes "olho de peixe" G2 de 58 mm e 0,25x.

Por meio da associação de imagens Sentinel-2 e de fotografias hemisféricas, bem como o emprego da análise de variância multivariada, regressão por mínimos quadrados parciais e validação cruzada, Santos et al. (2020) alcançaram uma taxa de acurácia de 77,8% na predição do percentual de cobertura do dossel. Os autores concluíram que uma amostra de fotografias hemisféricas possibilita calibrar o modelo de predição da cobertura do dossel em povoamentos de teca usando apenas as bandas 2, 3, 4 e 8 do Sentinel-2 MSI. Essa abordagem permite aos gestores florestais monitorar a presença de distúrbios fisiológicos nos plantios, com uma frequência de cinco dias, por meio do Sentinel-2 ou, diariamente, com o Sentinel-3.

Com o objetivo de corroborar o potencial de técnicas de sensoriamento remoto e de fotogrametria digital para a estimação de altura, de diâmetro do fuste, de número de árvores e de biomassa de povoamentos de teca, Upgupta et al. (2015) propuseram diferentes metodologias envolvendo imagens de alta resolução (Figura 2). Com base na análise da Matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza (GLCM), medidas de textura foram empregadas para a separação das copas das árvores. Para a separação das áreas sem cobertura, uma máscara foi preparada a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de dados multiespectrais do satélite Quick-Bird. Adicionalmente, uma imagem pancromática Quick-Bird foi filtrada para gerar uma imagem binária, em que cada árvore representou um pixel com o valor igual um, com os demais pixels iguais a zero. O polígono da amostra foi sobreposto à imagem original da copa das árvores, para a contagem do número de árvores. A partir das áreas de copa e do número de árvores, o diâmetro médio das copas foi calculado para todas as parcelas.

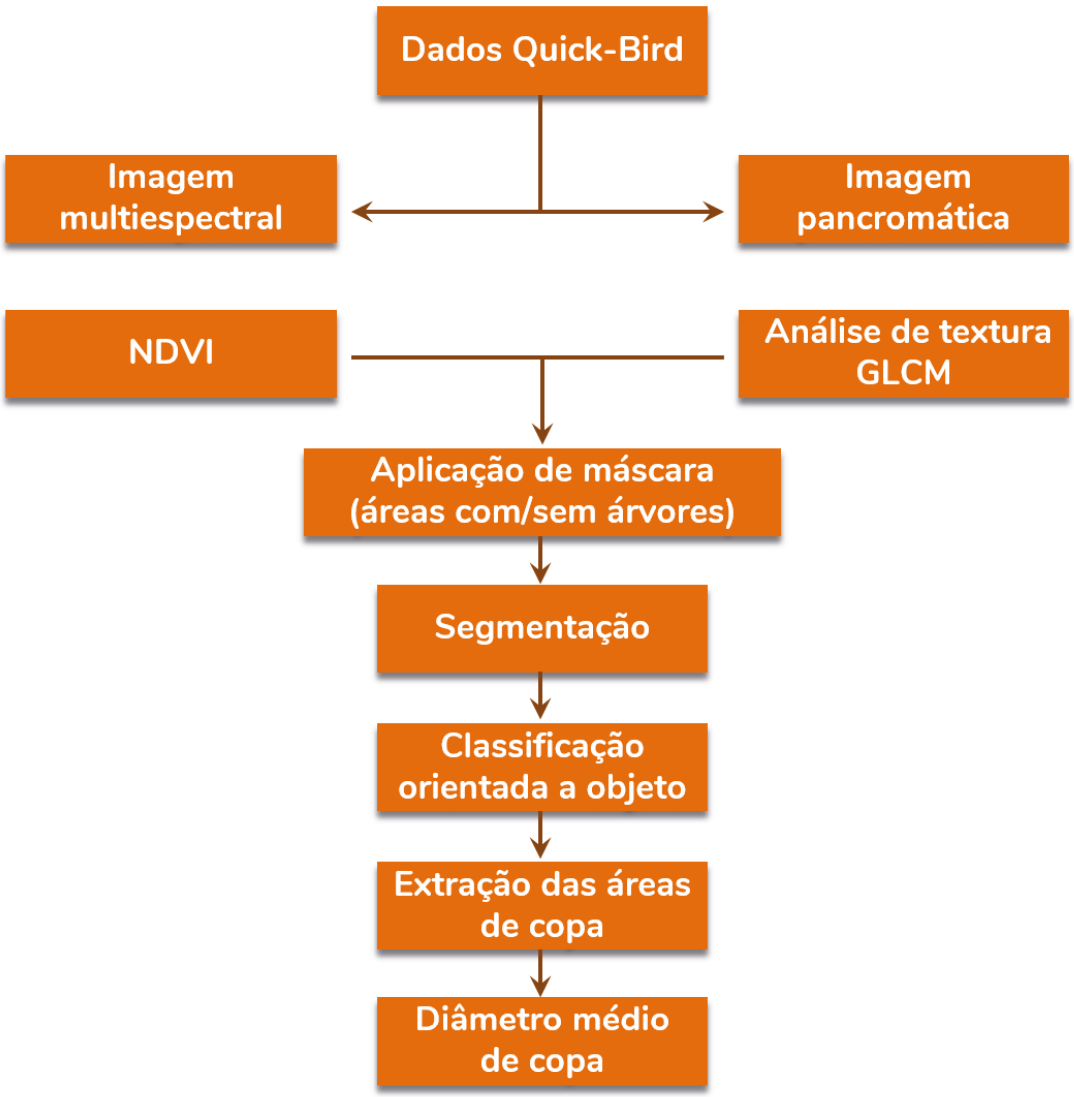


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada por Upgupta et al. (2015), para extração de área e de diâmetro da copa em povoamentos de teca.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

O sensoriamento remoto aplicado na detecção de ninhos de formigas *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) representa uma importante utilização, proposta por Santos et al. (2019a), para o manejo dessa praga em plantios de teca (Figura 3). Os autores objetivaram avaliar o potencial da utilização de imagens LANDSAT-8, com resolução espacial média e distribuídas gratuitamente, para detectar ninhos de formigas cortadeiras. Uma precisão de 72,3% foi obtida na detecção e no mapeamento dos ninhos em povoamentos de teca, considerando bandas multiespectrais e índices de vegetação como variáveis preditoras no modelo.

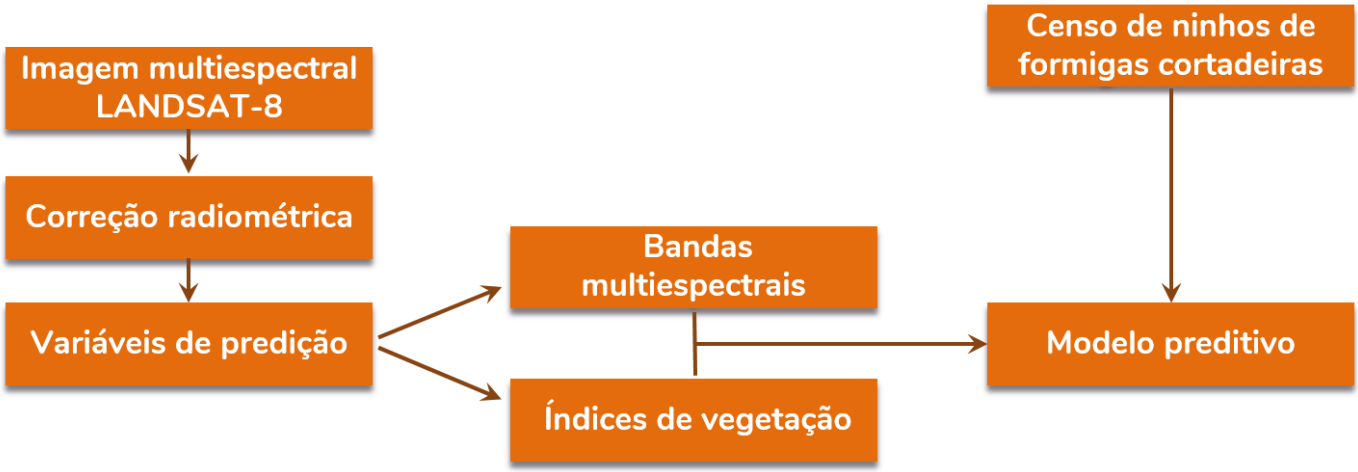


Figura 3. Fluxograma da metodologia aplicada por Santos et al. (2019a), para detecção e mapeamento de ninhos de formigas cortadeiras, em povoamentos de teca.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

O uso de índices de vegetação derivados de imagens de satélite, correlacionados com variáveis do povoamento, representa outra aplicação prática do sensoriamento remoto, constituindo uma ferramenta útil no monitoramento de povoamentos florestais. Para plantios de teca, Purwanto et al. (2009) e Santos et al. (2019b) buscaram estimar a biomassa e a uniformidade, respectivamente, em função de índices de vegetação, como o NDVI. Entretanto, as correlações baixas à moderadas se mostram um impedimento para a melhoria da precisão e da eficiência de modelos de regressão. Ademais, a presença de nuvens nas imagens de satélite também representa uma dificuldade conhecida, no entanto, essa desvantagem é agravada em povoamentos de teca quando se toma a alternativa do uso em períodos de seca. O elevado grau de deciduidade foliar da teca em época de estiagem é limitante ao uso desses dados.

No intuito de avaliar a relação entre os valores de NDVI com parâmetros dendrométricos florestais da teca, Santos et al. (2017) utilizaram imagens obtidas a partir do satélite LANDSAT-5, especialmente as bandas 3 (vermelho V) e 4 (infravermelho próximo, IVP). Os autores verificaram que, mesmo considerando uma imagem de média resolução espacial, os índices de vegetação apresentaram desempenho significativo na correlação com diâmetro a 1,3 m do solo, com altura total e com área basal em povoamentos de teca.

Além do uso de sensoriamento remoto com sensores ópticos, os dados de Detecção e Telemetria por Rádio (RADAR), têm demonstrado potencial aplicação na mensuração dos atributos de povoamentos de teca, tornando-se uma alternativa às imagens sob interferência de nuvens. Nesse sentido, Behera et al. (2016) estimaram a biomassa e o estoque de carbono

na biomassa de plantios de teca, por meio de imagens ALOS/PALSAR. Apesar da moderada eficiência dos modelos desenvolvidos, os autores consideraram que o uso de índices de vegetação por RADAR pode melhorar os resultados.

Outro fator limitante no uso de sensores passivos, além da interferência das nuvens, refere-se à associação das informações espectrais, espaciais e de textura das imagens adquiridas, as quais são facilmente associadas com as estruturas horizontais da floresta, porém insensíveis às medições das estruturas verticais. Nesse sentido, quando se deseja obter estimativas que requerem uma caracterização vertical, como a altura total, infere-se a partir das estruturas horizontais obtidas na imagem, o que nem sempre proporciona boas correlações. Assim, o uso do LiDAR corresponde a uma ferramenta que têm se demonstrado eficiente na obtenção de características tridimensionais de árvores, permitindo calcular tanto estruturas horizontais como verticais da floresta.

Sistemas de varredura a laser

Dentro do contexto do LiDAR, os sistemas de varredura a laser terrestre, ou terrestrial laser scanning (TLS), se têm destacado como métodos eficientes e não destrutivos de medição de árvores, especialmente, quando associados aos levantamentos florestais. A avaliação do componente lenhoso das florestas, como os troncos das árvores, corresponde à principal vantagem do TLS frente aos sistemas aerotransportados. Ademais, o TLS possibilita mensurar variáveis em nível de árvore, como diâmetros, para o desenvolvimento de modelos preditivos de crescimento e de produção. Esse nível de detalhamento das informações é possível, uma vez que o sistema de varredura emite um pulso que pode ser total ou parcialmente refletido ao interagir com a árvore, podendo captar até cinco retornos por sinal (Görgens, 2014). Dessa forma, uma nuvem massiva de pontos é formada com os valores das coordenadas da posição da árvore, juntamente com o valor do atributo dendrométrico de interesse (Martins, 2015).

Para a obtenção de dados dendrométricos em povoamentos florestais, com o uso do TLS, varreduras do tipo única ou múltiplas podem ser consideradas como os métodos de digitalização (Lemmens, 2011). Assim, na varredura única, o escâner é posicionado em um único ponto e apenas uma varredura é realizada. Esse método é considerado a abordagem mais rápida, porém apenas um lado da árvore é representado na nuvem de pontos. No método de varreduras múltiplas, a árvore é submetida às diversas varreduras ao seu entorno. Dessa forma, o processamento e a transformação geométrica dessas nuvens de pontos obtidas pelas múltiplas varreduras são realizados a partir do cálculo das coordenadas tridimensionais

dos pontos atingidos pelo feixe de laser, tendo como referência alvos que sejam comuns a ambas as varreduras (Dassot et al., 2011).

A sua aplicação em povoamentos de teca ainda é incipiente, porém têm demonstrado potencial para uso em larga escala. O estudo desenvolvido por Aguilar et al. (2019) é um exemplo do emprego de nuvens de pontos de TLS para reconstruir digitalmente o fuste de árvores de teca, em plantios no Equador (Figura 4). Após selecionar manualmente as árvores de uma amostra e efetuar o processamento semiautomático dos dados, os referidos autores obtiveram as medições dos volumes totais e comerciais dos fustes. Adicionalmente, os valores de biomassa acima do solo foram estimados em nível de árvores e utilizados para desenvolver modelos alométricos, os quais possibilitaram fornecer estimativas de baixo viés.

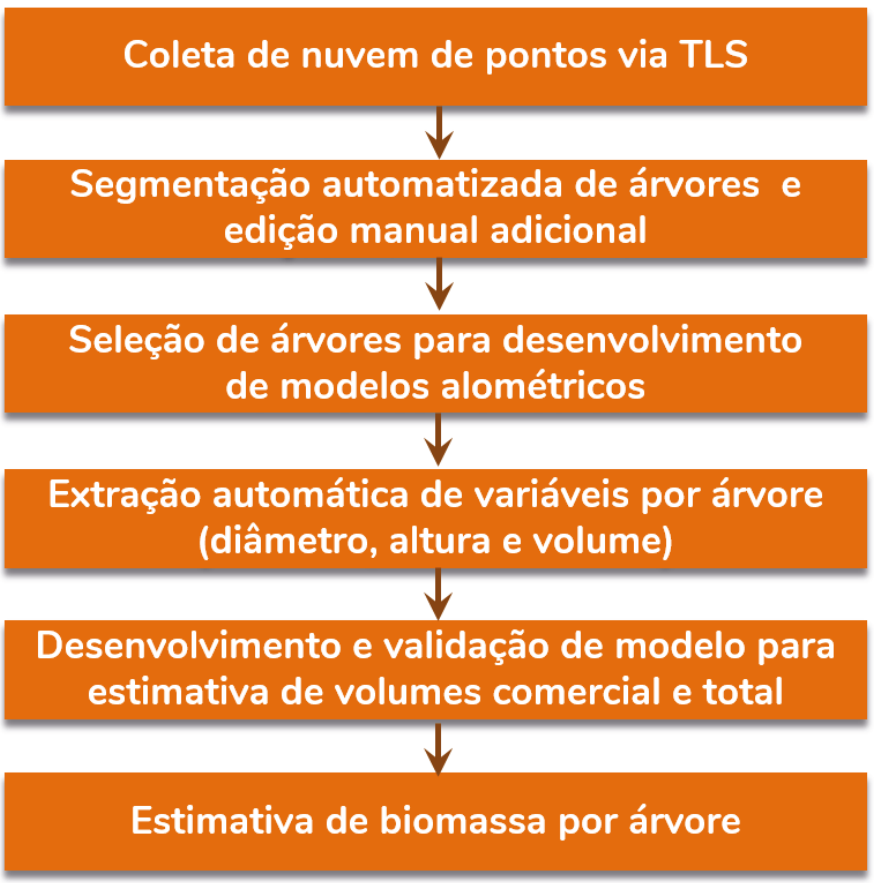


Figura 4. Fluxograma da metodologia aplicada por Aguilar et al. (2019), para mensuração de variáveis via TLS e desenvolvimento de modelos alométricos em povoamentos de teca.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

No intuito de extrair atributos de árvores de teca a partir de dados TLS, Mayamanikandan et al. (2019) escanearam cinco árvores e, também, coletaram manualmente medidas de diâmetro a 1,3 m do solo, de altura total e de volume do fuste. Os resultados mostraram que as variáveis baseadas em TLS apresentaram valores em conformidade com as medidas manuais. As conclusões do estudo indicaram que o TLS possibilita mensurar variáveis dendrométricas com precisão estatística para o posterior desenvolvimento de modelos alométricos.

Algumas dificuldades são observadas com o uso de sistemas de varredura a laser, como o elevado esforço computacional no processamento de grande densidade de pontos. Essa desvantagem é potencializada devido à necessidade da alocação de diversas varreduras em uma mesma parcela, para a detecção de indivíduos sobrepostos (Figura 5), o que acarreta a necessidade de maior nível de filtragem dos pontos por árvore. Pode-se considerar também a dificuldade de mapeamento das copas e de porções finais do fuste em indivíduos de maior porte, principalmente com laser terrestre, devido ao pulso que se propaga no espaço, o qual sofre divergência, que aumenta com a distância do sensor ao objeto, resultando na área de visada instantânea do laser. Ademais, a obtenção do diâmetro a 1,30 m do solo é dificultada pela extração incompleta da circunferência, em que algoritmos devem ser aplicados para ajustar uma função aos pontos coletados e, assim, estimar a circunferência em todas as faces do fuste de uma árvore (Figura 6).

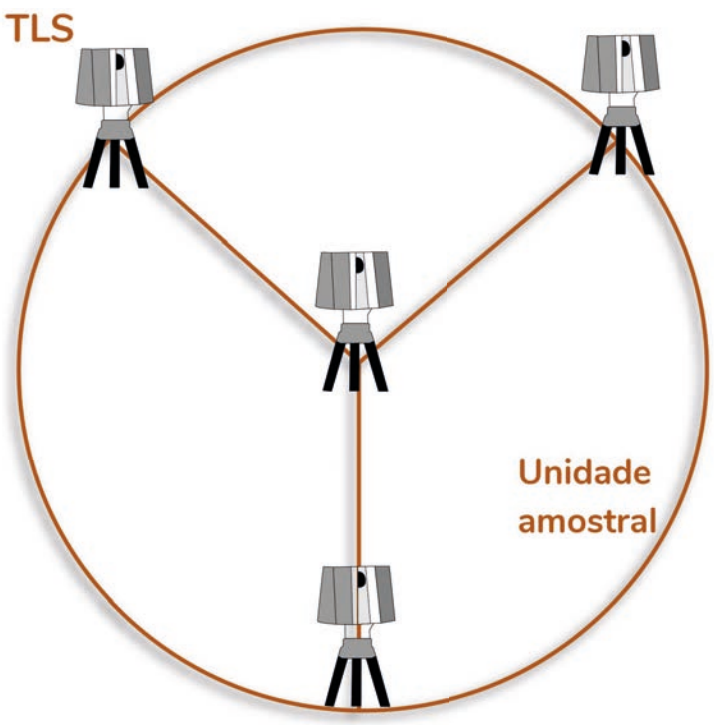


Figura 5. Ilustração da geometria de uma unidade amostral circular com quatro pontos de varreduras via TLS.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Uma vez que há custos elevados com equipamentos, para utilização em larga escala de sistemas de varredura a laser terrestre, bem como há consumo considerável de tempo para processamento de dados, o emprego de TLS para mensurar apenas atributos que possam ser facilmente medidos por equipes de campo é considerada uma justificativa frágil (White et al., 2016). Os gestores florestais, ao proporem o uso dessa geotecnologia, devem direcionar recursos à coleta de variáveis de difícil mensuração ou sujeitas a maiores erros de medição, comparativamente àquelas mensuradas manualmente. Como exemplos, podem ser citadas a reconstituição do perfil do fuste de árvores e a posterior estimação do volume de madeira e da biomassa do fuste (Yu et al., 2013; Aguilar et al., 2019; Buck et al., 2019).

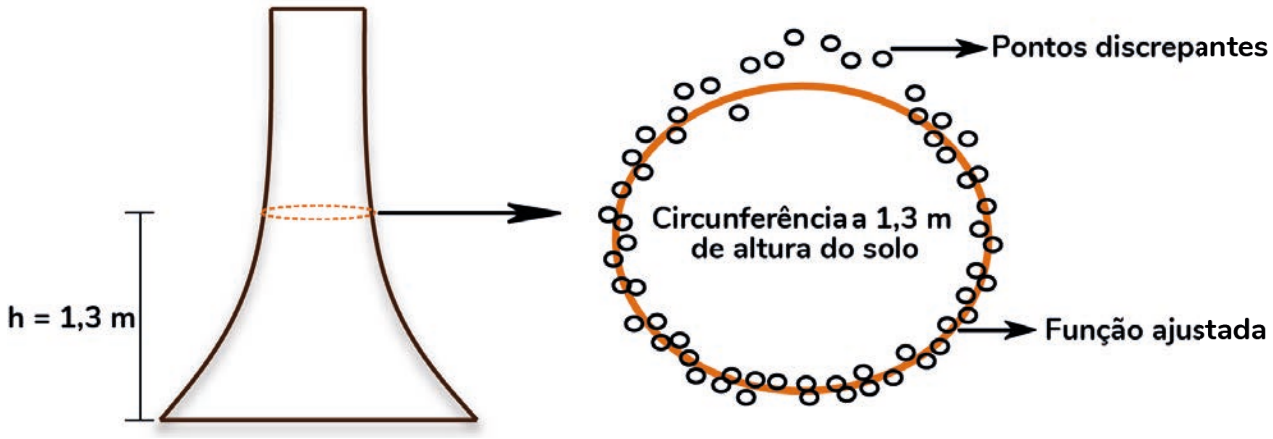


Figura 6. Ilustração da densidade de pontos coletados via TLS, com função ajustada à circunferência, para a extração do diâmetro a 1,3 m de altura do solo.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

A modelagem de atributos dendrométricos corresponde a outra aplicação racional de TLS em inventários florestais, por meio da coleta de variáveis alométricas para ajuste de modelos, por exemplo, de volume e de biomassa a partir de diâmetros e de alturas. No entanto, alguns desafios para a automatização do mapeamento de atributos em nível de árvore ainda remanescem, como a identificação de todos os indivíduos presentes em uma unidade amostral, devido à sobreposição por outras árvores e arbustos, principalmente em povoamentos com sub-bosque denso.

Veículos aéreos não tripulados

Apesar da facilidade e da ampla disponibilidade de imagens de sensores ópticos de satélites para cobertura de extensas áreas florestadas, a aplicação em pequena escala se

mostra limitante, especialmente para quantificação da mortalidade de mudas pós-plantio, detecção de surtos de pragas e doenças, inventário de pilhas de madeiras, entre outras aplicações. Nesse sentido, os VANTs, ou unmanned aerial vehicle (UAV), correspondem a plataformas para coleta de imagens de alta resolução, ao mesmo tempo em que possibilitam a coleta de dados em intervalos curtos, com maior regularidade e de forma econômica (Dash et al., 2017).

A maior parte das aplicações atuais de VANTs em formações nativas e plantios objetiva inventariar os recursos florestais, mapear ataques de doenças e de pragas, identificar e classificar espécies nativas, monitorar incêndios florestais e seus impactos negativos, quantificar clareiras e estimar a perda de solo após a colheita. Para isso, VANTs de asas rotativas (multirotor) ou fixas (Figura 7) com sensores ópticos ou LiDAR correspondem aos principais veículos empregados no monitoramento florestal (Torresan et al., 2017), pois proporcionam diversas vantagens tecnológicas, otimizando sua performance, tais como: pouso e decolagem vertical, permitindo uso em espaço restrito, necessitando apenas 1 m^2 de área; baixo peso da plataforma e alto potencial de carregamento (sensores e câmeras embarcados) e possibilidade de uso de câmeras especiais, como infravermelho e de alta resolução de foto e vídeo (Jorge; Inamasu, 2014).

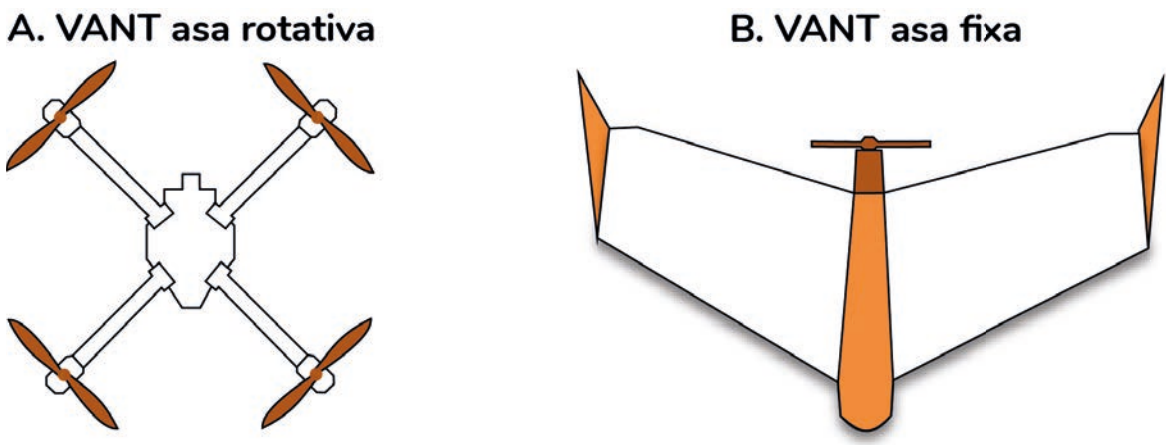


Figura 7. Ilustração de veículos aéreos não tripulados (VANTs) de asas rotativas (A) e fixas (B). Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Esses VANTs tendem a apresentar finalidades distintas quanto à coleta de dados no campo. Os VANTs de asas fixas, geralmente, possuem maior autonomia de voo e alcançam maiores distâncias, sendo recomendados para áreas maiores, ao gerar imagens com resolução espacial de poucos centímetros. Por outro lado, os veículos de asas rotativas

são mais flexíveis, manobráveis e adequados para o recobrimento de áreas menores, apresentando resolução espacial subcentimétrica (Guimarães et al., 2020).

O uso de imagens de alta resolução, derivadas de VANTs, representa uma aplicação proposta por Kusnadi et al. (2016), para estimar a qualidade do sítio em plantios de teca. Os autores empregaram imagens de VANT, com resolução espacial de 15 cm e obtidas a 400 m de um ponto de referência, representado pela elevação média da superfície do terreno. Posteriormente, modelos para estimativa da qualidade do sítio foram elaborados, por meio da análise discriminante, possibilitando precisão de aproximadamente 61% com as variáveis densidade e diâmetro de copa.

Adicionalmente, Rinnamang et al. (2020) utilizaram imagens aéreas de alta resolução e técnicas de fotogrametria derivadas de VANT, para estimar a biomassa de teca (Figura 8).

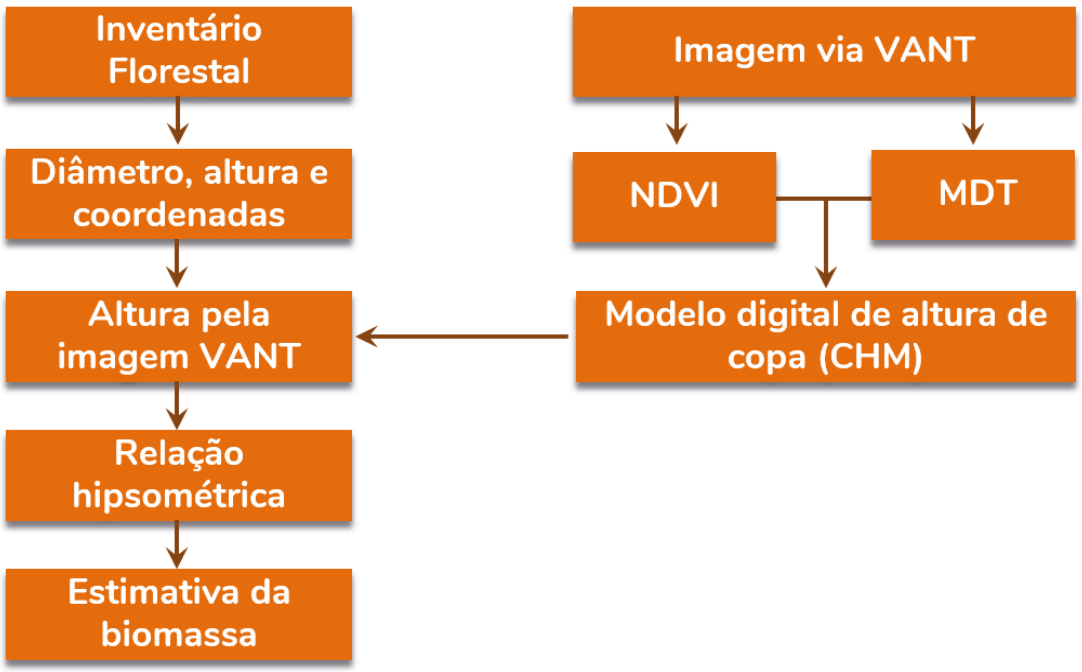


Figura 8. Fluxograma da metodologia aplicada por Rinnamang et al. (2020), para estimação da biomassa em povoamentos de teca, a partir de imagens derivadas de veículos aéreos não tripulados (VANTs).
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Para isso, imagens de VANT, com altitude de voo de 100 m para plantios com 15 anos de idade e 170 m para povoamento com 36 anos, resultaram em altas resoluções de 2 cm e 3 cm, respectivamente. Essas imagens foram utilizadas para gerar um modelo digital de superfície (MDS) e um modelo digital de terreno (MDT). Posteriormente, esses

modelos foram empregados para construir o modelo digital de altura de copa (CHM) e estimar as alturas das árvores. As ortoimagens foram utilizadas para detectar todas as coordenadas das árvores. Tais técnicas de fotogrametria resultaram em precisão de 92% na identificação de árvores em povoamentos mais jovens e de 83% em povoamentos adultos. A altura das árvores e a biomassa estimada a partir de VANT mostraram resultados mais precisos aos resultados dos dados de campo. Assim, há potencial na obtenção de dados que podem ser usados para avaliar a produção florestal mediante o uso de tais técnicas, ao invés do tradicional levantamento em solo.

A concepção de mapas temáticos da variabilidade espacial da área basal possibilita, de acordo com Pelissari et al. (2014b), individualizar as características dos desbastes por regiões específicas, em plantios de teca, almejando regular a densidade em benefício dos indivíduos de desenvolvimentos superiores e de melhor qualidade, ou seja, que permanecerão como remanescentes dos desbastes. Dessa forma, os desbastes pesados podem ser direcionados aos locais com maior área basal, ao passo que desbastes de menor intensidade são recomendados em locais com produção inferior.

A modelagem da variabilidade espacial da produção de povoamentos de teca possibilita desenvolver sistemas de amostragens de múltiplas ocasiões, que considerem a composição de estratos homogêneos e a alocação ótima de unidades amostrais para minimização dos custos dos inventários florestais (Pelissari et al., 2014b). Ademais, na presença de dependência espacial, a espacialização do estoque volumétrico pode auxiliar na gestão dos plantios de teca. Para isso, as combinações de análises geoestatísticas, com técnicas de otimização, possibilitam definir regimes de manejo diferenciados por talhão, associando-se com as demandas da indústria de base florestal para os multiprodutos e com a redução dos custos de condução dos plantios, de colheita e de transporte de madeira (Pelissari et al., 2017).

Por meio de krigagem ordinária e de krigagem indicatriz (Figura 9), Pelissari et al. (2015) procederam ao mapeamento de três classes de sítio e de cinco níveis de probabilidade de sítios mais produtivos em povoamentos de teca, constando a eficácia da geoestatística para o zoneamento da produtividade do local. Nesse estudo, os autores introduziram o interpolador geoestatístico de krigagem indicatriz, com o objetivo de não apenas complementar a krigagem ordinária e a espacialização de valores absolutos do sítio, mas também para predizer as probabilidades de ocorrência da produtividade no espaço.

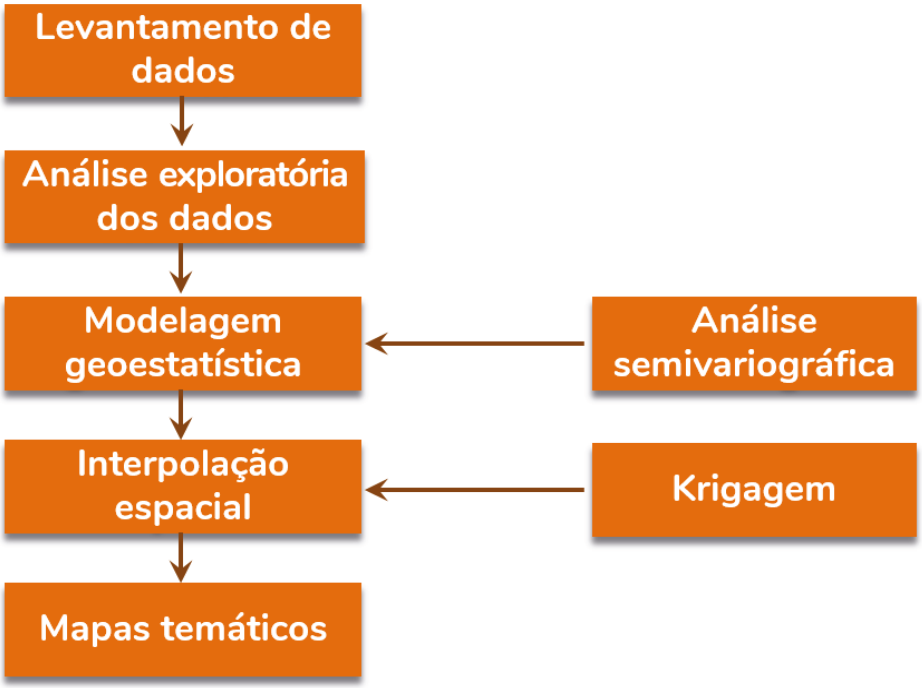


Figura 9. Fluxograma básico da modelagem geoestatística aplicada em povoamentos florestais. Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Na krigagem indicatriz, Pelissari et al. (2015) estabeleceram três classes de sítio, via método da curva-guia (Figura 10). Na sequência, a probabilidade de sítios mais produtivos prosseguiu com a transformação das alturas dominantes em valores binários, os quais foram submetidos à análise da continuidade espacial, por meio de semivariogramas indicadores e ajustes de modelos. A partir da krigagem indicatriz, mapas temáticos da probabilidade de sítios mais produtivos foram gerados, cujas estimativas resultaram em valores de incerteza espacial entre 0-100%, nos locais com menores e maiores produtividades, respectivamente. Assim, ao predizer espacialmente o sítio, recomendações específicas podem ser propostas, como desbastes mais frequentes ou intensos em áreas de melhor qualidade e densidades iniciais de plantios inferiores em locais de menor produtividade, almejando a produção sustentada, a regulação florestal e a mitigação de impactos negativos no meio, especialmente, nas reservas nutricionais do solo.

Ao mapear a distribuição espacial em volume de madeira dos sortimentos para serraria e para energia, em povoamentos de teca, Pelissari et al. (2017) observaram viabilidade em direcionar as áreas pouco produtivas de um determinado sortimento para outros fins, como destinar os talhões com volume baixo de madeira, até então para uso em serraria, para a produção de energia, onde há estoque maior desse produto. Ademais, de três a cinco cortes seletivos frequentes, a partir do quarto ou quinto ano dos povoamentos, bem

como podas baixas e altas em maior intensidade, podem ser recomendados aos locais com maior estoque para serraria, visando toras de maior dimensão e qualidade comercial. Por outro lado, tratos silviculturais menos intensos, como a ausência de podas de manutenção, podem ser direcionados aos talhões com maior volume para energia, intencionando obter biomassa arbórea ao menor custo de produção.

A principal vantagem da geoestatística está no aproveitamento da malha de unidades amostrais dos inventários florestais, o que não acarreta aumento de custos com a aquisição de dados. Como desvantagens, há a possível necessidade de uma intensidade amostral superior àquela praticada pelos levantamentos tradicionais, para algumas variáveis. Isso se deve à necessidade de pares de unidades amostrais separadas em diferentes distâncias, desde mais próximas até mais distantes. Outro ponto diz respeito à presença de dependência espacial, uma vez que, caso seja ausente e de baixa intensidade, a geoestatística se torna inviável. Nesse sentido, interpoladores determinísticos, como Inverso do Quadrado da Distância (IQD), são as alternativas mais indicadas.

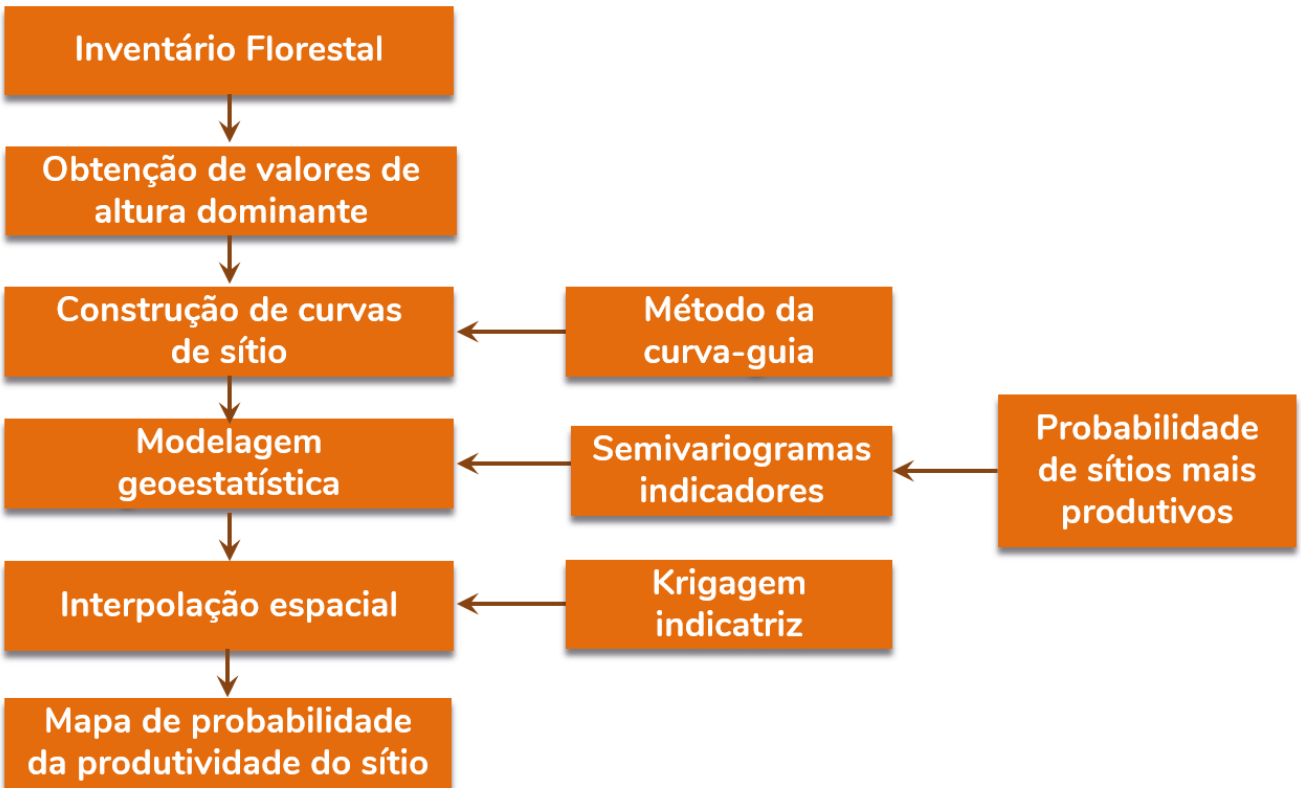


Figura 10. Fluxograma da metodologia aplicada por Pelissari et al. (2015), para mapeamento de classes de sítio em povoamentos de teca, por meio da modelagem geoestatística.
Crédito: Allan Libanio Pelissari.

Considerações finais

As geotecnologias florestais compreendem um conjunto de técnicas essenciais por proverem dados com qualidade para auxiliar a tomada de decisão no manejo da teca. As ferramentas de sensoriamento remoto, os sistemas de varredura a laser, os VANTs e a geoestatística têm o potencial de complementar os levantamentos terrestres, ao promoverem avaliações acuradas em nível de árvore e de povoamento.

Embora as geotecnologias proporcionem meios para a estimação de variáveis e de atributos em povoamentos de teca, há escassez de estudos que proponham metodologias para a avaliação do crescimento e da produção florestal. Ademais, as despesas com aquisição de dados, os elevados custos com equipamentos, a necessidade de plataformas computacionais específicas e o alto consumo computacional no processamento de dados são também exemplos de diversos desafios que necessitam ser superados para promover o uso, em larga escala, das geotecnologias no manejo da teca.

Referências

AGUILAR, F. J.; RIVAS, J. R.; NEMMAOUI, A.; PEÑALVER, A.; AGUILAR, M. A. UAV-Based Digital Terrain Model generation under leaf-off conditions to support Teak plantations inventories in Tropical Dry Forests: a case of the Coastal Region of Ecuador. **Sensors**, v. 19, n. 8, p. 1934, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/s19081934.

BEHERA, M. D.; TRIPATHI, P.; MISHRA, B.; KUMAR, S.; CHITALE, V. S.; BEHERA, S. K. Above-ground biomass and carbon estimates of *Shorea robusta* and *Tectona grandis* forests using QuadPOL ALOS PALSAR data. **Advances in Space Research**, v. 57, n. 2, p. 552-561, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.11.010.

BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; PÉLLICO NETO, S.; MACHADO, A. M. L.; MARTINS-NETO, R. P. Stem modelling of eucalyptus by terrestrial laser scanning. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. e20160125, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.012516.

DASH, J. P.; WATT, M. S.; PEARSE, G. D.; HEAPHY, M.; DUNGEY, H. S. Assessing very high-resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 1-14, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007.

DASSOT, M.; CONSTANT, T.; FOURNIER, M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits, and challenges. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 5, p. 959–974, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-011-0102-2.

GIL, R. L.; LANSSANOVA, L. R.; CHIG, L. A.; GARRETT, A. T. A.; OLIVEIRA, R. V.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; FERREIRA, K. R. Modelling spatial variability of soil chemical attributes in *Tectona grandis* stands in central-west Brazil. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 30, n. 3, p. 376-383, 2018. DOI: https://doi.org/10.26525/jtfs2018.30.3.376383.

GÖRGENS, E. B. **LiDAR technology applied to vegetation quantification and qualification**. 2014. 102 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GUIMARÃES, N.; PÁDUA, L.; MARQUES, P.; SILVA, N.; PERES, E.; SOUSA, J. J. Forestry remote sensing from Unmanned Aerial Vehicles: a review focusing on the data, processing, and potentialities. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 1046, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12061046.

HENTZ, A. M. K.; CORTE, A. P. D.; PÉLLICO NETTO, S.; STRAGER, M. P.; SCHOENINGER, E. R. Treedetection: automatic tree detection using UAV-based data. **Floresta**, v. 48, n. 3, p. 393-402, 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v48i3.56150.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113993/1/Agricultura-de-precisao-2014.pdf. Acesso em: 13 jul. 2021.

KUSNADI, K.; JAYA, N. S.; PUSPANINGSIH, N.; BASUKI, M.; HAKIM, L. Estimation model of site quality of teak (*Tectona grandis*) using very high-resolution imagery from unmanned aerial vehicle in KPH Nganjuk. **Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea**, v. 5, n. 2, p. 185-194, 2016. DOI: https://doi.org/10.18330/jwallacea.2016.vol5iss2pp185-194.

LEMMENS, M. Terrestrial laser scanning. In: LEMMENS, M. (ed.). **Geo-information**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011. p. 101-121.

MARTINS, B. F. **Uso da tecnologia LiDAR para classificação da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto**. 2015. 31 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MACEDO NETO, A. A. L.; FARIAS, P. R. S.; MATOS, G. S. B.; SILVA, G. B.; SANTOS, A. V. F. ANHÊ, B. B. Diagnosis and spatial variability of soil fertility and crop production in a teak area in eastern Pará state. **Cerne**, v. 26, n. 1, p. 37-47, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760202026012683.

MAYAMANIKANDAN, T.; REDDY, R. S.; JHA, C. S. Non-destructive tree volume estimation using terrestrial LiDAR data in teak dominated Central Indian forests. In: IEEE RECENT ADVANCES IN GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING: TECHNOLOGIES, STANDARDS AND APPLICATIONS, 2019, Kochi, Kerala, India. **Anais** [...]. Kochi, Kerala, India: IEEE, 2019. p.100-103.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A. Propostas de mapeamentos da capacidade produtiva de sítios florestais por meio de análises geoestatísticas. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 601-608, 2015.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S.; SANTOS, J. O. P. Correlação espacial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 247-256, 2012. DOI: https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.247.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014a. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201420031437.

PELISSARI, A. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; CALDEIRA, S. F.; MACHADO, S. A. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014b.

PELISSARI, A. L.; ROVEDA, M.; CALDEIRA, S. F.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, C. R. Geostatistical modeling of timber volume spatial variability for *Tectona grandis* L. f. precision forestry. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 115-122, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201723012291.

PFUTZ, I. F. P. **Modelagem geoestatística associada à variáveis dendrométricas e de sensoriamento remoto em povoamento de *Tectona grandis* L. f.** 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PURWANTO, R. H.; SUKAMDI, I.; WURYANTO, A. Estimating above ground biomass of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) forest plantations using digital data analysis of LANDASAT-7 ETM+ in BKPH Pasarsore, KPH Cepu, Perum Perhutani Unit I, Central Java. **Jurnal Manajemen Hutan**, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2009. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13916.82565.

RINNAMANG, S.; SIRIRUEANG, K.; SUPAVETCH, S.; MEUNPONG, P. Estimation of above ground biomass using aerial photogrammetry from unmanned aerial vehicle in teak (*Tectona grandis*) plantation in Thailand. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, v. 21, n. 6, p. 2369-2376, 2020. DOI: https://doi.org/10.13057/biodiv/d210605.

SANTOS, I. C. L., SANTOS, A., COSTA, J. G.; ROSA, A. M.; ZANUNCIO, A. J. V.; ZANETTI, R.; OUMAR, Z.; ZANUNCIO, J. C. *Tectona grandis* canopy cover predicted by remote sensing. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 1-13, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11119-020-09748-w.

SANTOS, I. C. L.; SANTOS, A.; OUMAR, Z.; SOARES, M. A.; SILVA, J. C. C.; ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C. Remote sensing to detect nests of the leaf-cutting ant *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) in teak plantations. **Remote Sensing**, v. 11, n. 14, p. 1641, 2019a. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11141641.

SANTOS, L. H. O.; MEDEIROS, R. A.; CARVALHO, S. C. P.; RAMIREZ, G. M. Análise de correlação entre NDVI e parâmetros dendrométricos em plantios jovens de *Tectona grandis* Linn. f. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 46, 2017, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: CONBEA, 2017. p. 1-4.

SANTOS, L. H. O.; RAMIREZ, G. M.; ROQUE, M. W.; CARVALHO, M. P. L. C.; DIAZ, L. M. G. R.; CARVALHO, S. P. C. Correlação entre uniformidade e NDVI em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 130-136, 2019b. DOI: https://doi.org/10.5380/biofix.v4i2.65085.

TORRESAN, C.; BERTON, A.; CAROTENUTO, F.; GENNARO, S. F. D.; GIOLI, B.; MATESE, A.; MIGLIETTA, F.; VAGNOLI, C.; ZALDEI, A.; WALLACE, L. Forestry applications of UAVs in Europe: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2427-2447, 2017. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1252477.

UPGUPTA, S.; SINGH, S.; TIWARI, P. S. Estimation of aboveground phytomass of plantations using digital photogrammetry and high-resolution remote sensing data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 43, n. 2, p. 311-323, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s12524-014-0401-9.

WHITE, J. C.; COOPS, N. C.; WULDER, M. A.; VASTARANTA, M.; HILKER, T.; TOMPALSKI, P. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 619-641, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484.

WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; COOPS, N. C.; BUTSON, C. R. Multi-temporal analysis of high spatial resolution imagery for disturbance monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2729-2740, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.01.010.

YU, X.; LIANG, X.; HYYPPÄ, J.; KANKARE, V.; VASTARANTA, M.; HOLOPAINEN, M. Stem biomass estimation based on stem reconstruction from terrestrial laser scanning point clouds. **Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 4, p. 344-353, 2013. DOI: https://doi.org/10.1080/2150704X.2012.734931.



12

Doenças da teca no Brasil

Rafael Ferreira Alfenas
Flávia Sampaio Alexandre
Mallú Loyane Arenhart Pirolla
Daniele Aparecida Alvarenga Arriel
Acelino Couto Alfenas

Introdução

Teca (*Tectona grandis*) é uma espécie florestal de grande porte, rústica e cuja madeira é considerada uma das mais valiosas do mundo, devido à sua beleza, durabilidade natural e versatilidade de uso. Por esse motivo, tem sido muito procurada principalmente pela indústria moveleira e construção naval (Midgley et al., 2015), sendo seu plantio considerado uma boa oportunidade de investimento de longo prazo, em países tropicais.

No Brasil, a teca teve uma boa adaptação às condições edafoclimáticas e, devido à valorização de sua madeira e por apresentar crescimento relativamente rápido em relação à outras espécies produtoras de madeira nobre, é uma das principais espécies florestais plantadas em grande escala com pouco mais de 90 mil ha (Indústria Brasileira de Árvores, 2019). Entretanto, assim como outras espécies florestais, a teca também é afetada por doenças que podem reduzir a produtividade e a qualidade da madeira produzida no final do ciclo, a ponto de inviabilizar o plantio em uma determinada região e comprometer o retorno esperado do investimento.

Nos últimos anos, têm-se observado o aumento da incidência e severidade das doenças nos povoamentos de teca, principalmente devido à expansão da área plantada, às oscilações climáticas que predispõem as plantas perenes aos estresses abióticos cíclicos, aliados à adoção de práticas silviculturais executadas de forma inadequada e, ou o plantio em áreas inaptas, preparo intensivo do solo e plantio de clones mais produtivos, porém sem o conhecimento prévio de sua resistência a doenças.

As doenças podem ocorrer a qualquer momento, desde que haja condições ambientais favoráveis para o patógeno, que o hospedeiro seja suscetível e que o patógeno virulento esteja presente na área de plantio. Ou seja, é uma bomba relógio que a qualquer momento pode estourar. Mas antes de iniciar qualquer intervenção seja no viveiro ou no plantio em campo, é importante ter o conhecimento sobre a etiologia das principais doenças e saber quantificar as perdas para definir as melhores estratégias de controle a serem adotadas.

Identificar a causa de uma doença nem sempre é uma tarefa fácil, pois, além de requerer um bom conhecimento das características da espécie florestal cultivada, é necessário conhecer as características dos agentes causais e, muitas vezes, dispor de técnicas biotecnológicas para fazer um diagnóstico assertivo.

Com o intuito de auxiliar produtores, empresários e amantes da teca, neste capítulo são abordadas as principais doenças bióticas e abióticas da cultura da teca no Brasil.

Principais doenças

Doença pode ser definida, de forma abrangente, como um mal funcionamento dos processos fisiológicos da planta, causado pela irritação contínua de um agente primário biótico ou abiótico, que resulta no desenvolvimento de sintomas, afetando consequentemente seu crescimento, produção e, ou sobrevivência (Agrios, 2005).

As doenças bióticas ou patogênicas são aquelas que são transmitidas de uma planta doente para uma planta sadia. São causadas por agentes parasitários, tais como fungos, oomicetos, bactérias, nematoides, vírus, viroides, fitoplasmas e plantas parasitas superiores. Já as doenças abióticas ou não patogênicas são aquelas causadas por condições adversas do ambiente e não são transmitidas de uma planta doente para uma planta sadia. Em geral, são causadas por condições inadequadas de manejo ou edafoclimáticas inapropriadas para a espécie (Alfenas et al., 2009).

A seguir são abordadas as principais doenças bióticas e abióticas da teca já relatadas no Brasil.

Doenças abióticas

Conforme mencionado por Caldeira (2013), as principais doenças abióticas da teca são decorrentes de: eventos climáticos adversos cíclicos, plantios em sítios inadequados e, ou inadaptabilidade do material genético e manejo silvicultural inadequado.

Hipoxia do sistema radicular

A principal causa da hipoxia radicular é o acúmulo de água no solo que reduz a disponibilidade de oxigênio para as raízes. Ocorre principalmente em solos com drenagem deficiente ou com afloramento do lençol freático.

Os sintomas iniciais da doença são amarelecimento e arroxeamento da copa com folhas menores que as normais (Figura 1A) e seca do ponteiro principal, progredindo para uma seca generalizada (Figura 1B-C). Em geral, as plantas apresentam crescimento reduzido e sistema radicular superficial.

Em plantios jovens é comum observar estagnação do crescimento, presença de folhas amareladas, necrose de tecido radicular com odor desagradável e consequente morte da planta (Figura 2). Em geral, são encontrados fungos e bactérias oportunistas, devido ao estado debilitado das plantas.



Figura 1. Hipoxia radicular: amarelecimento e folhas menores que as normais (A), seca generalizada de toda a copa e distribuição uniforme da doença na área de plantio (B e C).



Fotos: Rafael Ferreira Alfenas e Flávia Sampaio Alexandre

Figura 2. Acúmulo de água no solo ou hipoxia radicular em teca: regiões de baixadas sujeitas a alagamentos sucessivos (A), acúmulo de água na base das plantas (B) e escurecimento e morte de raízes (C).

Quebra pelo vento

Inicialmente é observada a inclinação da copa das árvores, causando a sua quebra e, ou trincamento de partes do fuste, devido à tração exercida pela força do vento. Em geral, ocorre em plantios jovens, com até três anos de idade, que tiveram grande parte da copa da árvore retirada pela operação de desrama (Figura 3).

A quebra pelo vento pode afetar mais de 60% das árvores em locais sujeitos à ocorrência de vendavais associados às tempestades (Miranda, 2013). Observações de campo indicam que é possível encontrar genótipos mais resistentes à ação do vento.



Foto: Mallú Loyane Arenhart Pirolla

Figura 3. Árvore de teca quebrada pela ação do vento.

Descargas atmosféricas (raios)

As árvores são frequentemente afetadas pelas descargas atmosféricas (raios). Os danos nas plantas dependem da intensidade da descarga elétrica. Em teca, é comum observar reboleira de árvores com fissuras longitudinais ao longo do tronco e plantas mortas.

As ocorrências de mortes de plantas causadas por raios são mais comuns em regiões de relevo plano (Figura 4).



Figura 4. Danos provocados por raios em plantios de teca: reboleira de árvores mortas com trincamento e brotações ao longo do fuste em plantio jovem (A) e árvores mortas com trincamento ao longo do fuste em plantio adulto (B).

Fitotoxicidade

A fitotoxicidade ocorre devido à aplicação excessiva de fertilizantes e de pesticidas, sendo que os sintomas variam de acordo com a substância, a idade da planta e a concentração do produto aplicado de forma inadequada. Em geral, os sintomas são observados poucas horas após a aplicação. Quando o modo de ação do produto aplicado é por contato, as plantas apresentam sintomas de queima e encarquilhamento foliar, como pode ser observado nas mudas que sofreram com deriva de um pesticida no viveiro (Figura 5). Os sintomas observados, quando o modo de ação do produto é sistêmico, podem ser semelhantes aqueles causados por deficiência nutricional, como clorose, deformação foliar, seca de ponteiros, superbrotamento e redução no desenvolvimento da planta (Figura 6).



Figura 5. Mudas de teca com fitotoxidade devido à aplicação de um pesticida: aspecto geral das plantas afetadas (A) e detalhe da queima foliar (B).



Figura 6. Fitotoxidez em plantas de teca no campo, causada pela aplicação de herbicida pré-emergente com princípio ativo Isoxaflutol: descoloração foliar (A e B) e ressecamento das folhas e colapso do meristema apical com brotações na base (C e D).

Desequilíbrio nutricional

O acompanhamento e a correção adequada dos teores de macro e micronutrientes nos tecidos foliares são fundamentais para que a planta expresse todo o seu potencial genético de crescimento e de produção.

Embora não seja fácil, a falta ou o excesso de um determinado elemento pode ser diagnosticada pela análise visual dos sintomas apresentados. Um aspecto importante que ajuda no diagnóstico da anormalidade é o fato dos sintomas causados por desequilíbrio nutricional serem expressos de forma simétrica, ou seja, nos tecidos foliares adjacentes (Figura 7A). Entretanto, a avaliação não deve ser baseada apenas em sintomas visuais, pois podem apresentar deficiência de múltiplos nutrientes, dificultando o diagnóstico (Alfenas, 2009). Além disso, quando ocorre a manifestação dos sintomas, o crescimento e a produção já foram comprometidos.

Em mudas de teca é comum observar a clorose internerval pela deficiência de ferro (Figura 7A) e a presença de lesões necróticas internervurais, com queima do ponteiro, quando há deficiência de múltiplos nutrientes, incluindo deficiência de potássio (Figura 7B). Assim, análises químicas sempre devem ser realizadas para confirmação do diagnóstico.



Figura 7. Desequilíbrio nutricional em mudas clonais de teca: intensa clorose internerval de folhas expandidas (A), clorose e lesões necróticas nas pontas das folhas e nos espaços internervais e, também, queima do ponteiro (B).

Doenças bióticas

Como já mencionadas, as doenças bióticas ou patogênicas são aquelas que são transmitidas de uma planta doente para uma planta sadia e, por isso, podem causar grandes epidemias e perdas. Em teca, a maioria das doenças são causadas por fungos e bactérias, mas há também relatos da ocorrência de nematoides e vírus, sem importância econômica, até o momento.

As principais doenças bióticas em teca podem ser agrupadas em função dos processos fisiológicos, que são afetados no hospedeiro pela ação dos patógenos. Assim, os principais grupos de doenças em teca são: murchas vasculares, que interferem na translocação de água na planta; as podridões radiculares, que interferem na absorção de água pelas raízes e as doenças de parte aérea, que interferem na taxa fotossintética e na translocação dos fotoassimilados.

Murchas vasculares

As murchas vasculares são doenças causadas por patógenos que colonizam, se multiplicam e movimentam através das células do sistema vascular das plantas, levando à redução ou interrupção do fluxo de água no xilema e, consequentemente, à murcha e à morte da planta. São doenças de desenvolvimento lento, mas que levam à morte repentina das plantas em virtude da deficiência na translocação de água das raízes para a parte aérea.

Embora recentemente Borges et al. (2018c) tenham relatado a ocorrência de *Fusarium oxysporum*, neste capítulo serão abordadas: a murcha-de-ceratocystis, causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* e a murcha bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*.

Murcha-de-ceratocystis (Ceratocystis fimbriata)

A murcha-de-ceratocystis em teca foi detectada pela primeira vez no Brasil, em 2009, no município de Cáceres, MT (Firmino et al., 2012) e, a partir de então, vem sendo relatada em plantios comerciais de várias regiões do País e, mais recentemente, também no Equador (Belezaca-Pinargote et al., 2020).

A murcha é causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*, que tem ampla distribuição geográfica e gama de hospedeiros, sendo um dos principais patógenos em espécies florestais na atualidade.

Os primeiros sintomas da doença são: o amarelecimento e, às vezes, a redução do tamanho das folhas, o trincamento da casca e a presença de brotações epicórmicas ao longo do tronco. Com o progresso da doença, observa-se: a murcha e a queda das folhas, a gomose e o escurecimento do lenho (Figura 8). O sintoma mais característico da doença e que ajuda no diagnóstico é a presença de lesões escuras e descontínuas no sentido do raio, em cortes longitudinais do lenho (Figura 9A-D) e, em cortes transversais, observa-se escurecimento radial da região do xilema para o floema, em plantas mais jovens (Figura 9E-F), e manchas escuras, descontínuas, de coloração cinza-azulado, com maior intensidade no alburno (Figura 9G-H), em plantas mais velhas. Nas plantas sadias, observa-se madeira de excelente qualidade, sem a presença de mancha na madeira (Figura 9I-K).

O fungo coloniza e se multiplica nos vasos do xilema, formando uma barreira física pela presença de clamidósporos (aleuroconídios) e micélio no interior do vaso (Figura 10A-D). A produção das estruturas do patógeno no xilema, juntamente com a produção de tilose (Figura 10E), bloqueia a translocação de água na planta, levando ao sintoma de murcha.

Em laboratório, é possível confirmar a presença do patógeno pelas características do peritécio com a base globosa, com abundante massa de ascósporos de coloração creme e pelo formato característico do ascósporo (Figura 10F-I).

No campo, as infecções podem ocorrer por meio de abertura nas raízes, por ação de coleobrocas e outros insetos, que podem carregar em seu corpo estruturas do patógeno, por ferramentas de corte e podas ou, até mesmo, pelo plantio de mudas infectadas, porém assintomáticas (Ferreira et al., 2013).

Na cultura da teca, operações frequentes de desramas são necessárias para a condução do povoamento para produção de madeira serrada. Esta operação de desrama constitui uma das principais formas de disseminação da doença (Figura 11), devido ao acúmulo de serragem contendo inóculo do patógeno nos equipamentos de corte (Alfenas, 2017).



Figura 8. Sintomas da murcha-de-ceratocystis causados por *Ceratocystis fimbriata* em árvores de teca: amarelecimento e início da murcha das folhas (A), murcha generalizada da copa das árvores (B e C), plantas mortas (D e E), brotações epicórmicas ao longo do tronco (F e G), gomose - exsudação de quino (H) e trincamento da casca e cancro (I).

Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).



Figura 9. Sintomas da murcha-de-ceratocystis, causados por *Ceratocystis fimbriata*, na madeira de teca: manchas escuras e descontínuas no sentido do raio em cortes longitudinais do lenho (A, B, C e D), escurecimento radial do lenho em plantas jovens (E e F), manchas de coloração cinza-azulado, com maior intensidade no alburno em plantas adultas (G e H) e discos de madeira retirados de plantas sadias, sem presença de mancha na madeira (I, J e K).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

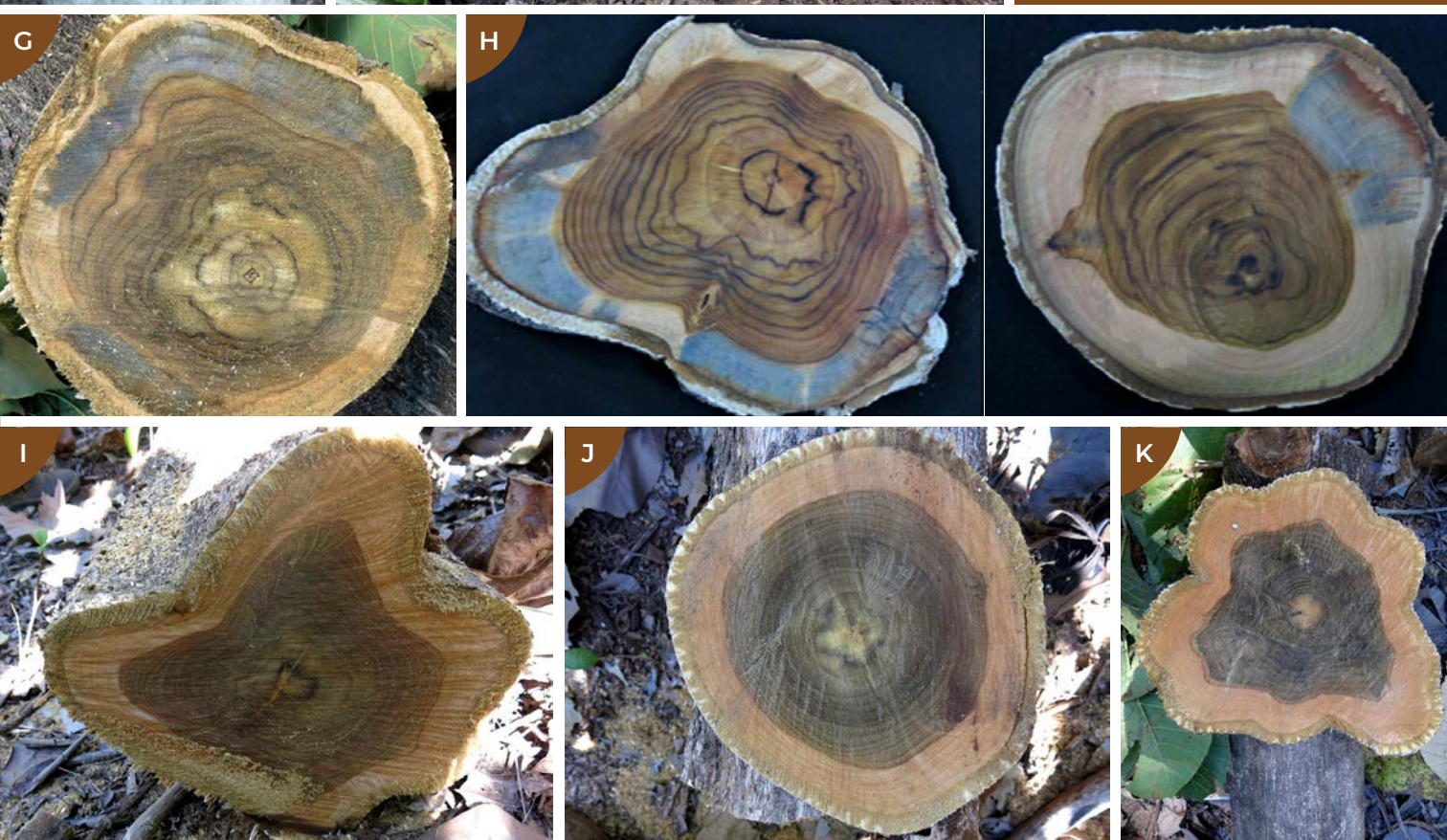




Figura 10. Sinais da murcha-de-ceratocystis em teca e estruturas do fungo *Ceratocystis fimbriata*: presença de clamidósporos (aleuroconídios) e micélio nos elementos de vasos (A, B, C e D), acúmulo de compostos de defesa da planta (tilose) em pontos de colonização fungo (E), peritécios produzidos no tecido do hospedeiro (F e G), peritécio visualizado em microscópio de luz (H) e ascósporos típicos de *C. fimbriata* (I).

Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).



Figura 11. Disseminação da murcha-de-ceratocystis em teca pela operação de desrama: discos de uma mesma planta evidenciando maior colonização do patógeno no ápice da planta (A), desrama realizada inadequadamente, servindo como porta de entrada para o patógeno (B e C) e galhos com sintomas da doença (D, E, F e G).

Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

Após a colonização do fungo, os danos causados são irreversíveis e, portanto, as medidas de controle devem ser preventivas, baseadas principalmente no plantio de material genético resistente, selecionado por inoculação em condições de ambiente controlado. Inspeções de campo e inoculações em casa de vegetação indicam a presença de variabilidade para resistência dos materiais genéticos já introduzidos no Brasil (Borges et al., 2015a; Delmadi, 2017; Alexandre, 2020).

Fazer a limpeza e a desinfestação das ferramentas de poda são medidas eficazes para reduzir a disseminação da doença. A desinfestação deve ser feita, preferencialmente, por meio da imersão da ferramenta em água quente a 80 °C min^{-1}. Evitar ferimentos, bem como realizar as desramas na época seca, ou seja, época desfavorável para o patógeno e de maneira correta, mantendo o colar e a crista do galho, também reduz o risco de infecção e a disseminação do patógeno. Uma outra estratégia potencial é o uso da indução de resistência sistêmica (IRS) mediante utilização de microrganismos benéficos da rizosfera ainda na fase de produção de mudas (Alexandre, 2020).

Murcha-de-ralstonia (*Ralstonia solanacearum*)

A murcha-de-ralstonia, causada pela bactéria *Ralstonia solanacearum*, ainda não foi relatada oficialmente no Brasil. Mas sua ocorrência já foi confirmada no México, a partir de mudas importadas da Costa Rica e, também, na Malásia (Arguedas et al., 2013; García Díaz et al., 2013).

Essa doença ocorre tanto em campo quanto em viveiro. Em viveiro, ocorre em minijardim clonal e os principais sintomas são: necrose foliar, escurecimento do lenho e murcha da planta. No campo, a doença se caracteriza por apresentar murcha, necrose foliar, escurecimento interno do lenho e morte da planta e, geralmente, está associada ao excesso de umidade no solo (Figura 12). A exsudação macroscópica de pus bacteriano é o principal sinal (Figura 12C) e a confirmação dessa doença no campo pode ser realizada pelo teste de "Pocket", específico para *R. solanacearum* (Figura 12D). Embora seja uma bactéria de solo, a sua principal forma de disseminação é via plantio de mudas com infecção latente. Portanto, são fundamentais as realizações de vistorias periódicas no viveiro, a fim de evitar a sua disseminação por mudas infectadas.

Em caso do estabelecimento da bactéria em solo no campo, a utilização de materiais resistentes é a única alternativa para o controle da doença. Para o controle da doença em viveiro, deve-se erradicar qualquer fonte de inóculo do patógeno, principalmente na água de irrigação e na areia do canaletão.



Figura 12. Infecção de *Ralstonia solanacearum* em minicepas e em plantas de teca no campo, no México: lesões em raízes e no caule de minicepas (A e B), infecção de planta no campo (C), exsudação de pus (D) e amostras com exsudação de pus bacteriano e resultado positivo do teste sorológico (E).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

Podridões radiculares

As podridões radiculares são doenças causadas por patógenos habitantes do solo e que danificam ou levam à decomposição do sistema radicular de uma planta. Em teca, há relatos de dois fungos, *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) Imazeki e *Phellinus noxius* (Corner) G. Cunn, associados à podridão radicular. No entanto, a podridão radicular causada por

Kretzschmaria zonata (Lév.) P. M. D. Martin (=*Ustulina zonata*) é a principal doença radicular atualmente, com relatos na Nigéria (West, 1938), no México (Tovar et al., 2014) e no Brasil (Alfenas et al., 2021). A podridão radicular de Kretzschmaria é uma doença de desenvolvimento lento, mas que leva à morte repentina da planta. No campo, observam-se plantas isoladas ou em pequenas reboleiras com sintomas de amarelecimento e de queda das folhas, achatamento da base do tronco, com trincamento e desprendimento da casca. Com o progresso da doença, observa-se a morte da árvore devido à intensa colonização do sistema radicular e do lenho (Figura 13). É uma doença muito severa e, pelo fato de os sintomas iniciais ocorrerem abaixo do nível do solo, sua detecção no estágio inicial é muito difícil. Após o fungo colonizar os tecidos da planta e entrar na fase de reprodução, é possível observar a presença de esporulação cinza-escura na base da árvore doente e, quando se faz o abate da árvore, verifica-se a degradação da região do câmbio vascular, provavelmente pela ação de enzimas hidrolíticas do fungo.

Até o presente, não há estudos sobre as condições favoráveis à infecção, mas a doença tem sido encontrada com maior incidência em regiões com altas temperaturas, em solos sujeitos ao encharcamento e em plantas com sistema radicular enovelado.

São poucos os estudos sobre a forma de controle da doença, mas observações de campo indicam a existência de variabilidade para resistência, portanto o plantio de genótipos resistentes pode constituir um método eficiente de controle da doença. No entanto, efetuar o plantio em solos bem drenados, fazer subsolagem a, pelo menos, 60 cm de profundidade e realizar adubação de plantio e de cobertura podem minimizar as chances de infecção por Kretzschmaria. Com base nos trabalhos em andamento do nosso grupo de pesquisa, em parceria com alguns produtores, a aplicação de microrganismos benéficos da rizosfera tais como rizobactérias e micorrizas apresentam potencial para o controle da doença.

Há também registros da ocorrência dos nematoides das galhas, *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria*, parasitando plantas de teca, em plantios comerciais, nos estados de Mato Grosso e São Paulo (Araújo Filho et al., 2012; Oliveira; Silva, 2013). Os sintomas observados são: amarelecimento da planta, arroxeamento e necrose internerval, queda precoce das folhas e a característica marcante é a presença das galhas nas raízes. As doenças causadas por nematoides em teca devem ser investigadas com mais detalhes, pois, além dos danos potenciais provocados pela doença, os nematoides provocam pequenos ferimentos no sistema radicular das plantas, que podem servir como porta de entrada para patógenos importantes, tais como *Kretzschmaria zonata* e *Ceratocystis fimbriata*.



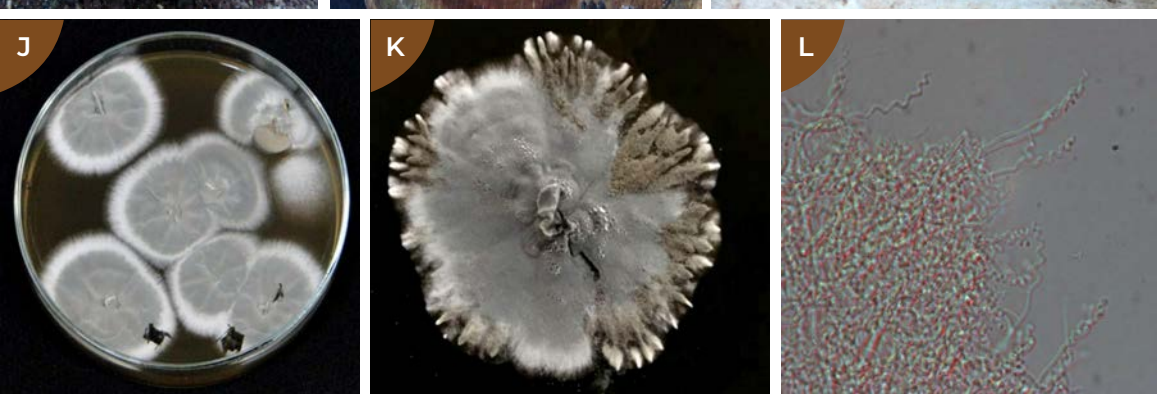




Figura 13. Sintomas e sinais da podridão radicular causada por *Kretzschmaria zonata* em teca: amarelecimento e queda das folhas (A, B e C), achatamento da base do tronco com sinais da doença (D, E e F), degradação do cerne (G, H e I), fungo em meio de cultura MEA (J e K), características morfológicas do estágio sexual e assexuado do patógeno (L, M, N e O).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

Doenças de parte aérea: folhas e caules

As doenças de parte aérea são causadas por patógenos que penetram, colonizam e se multiplicam nos tecidos foliares e caulinares, mas em nível de periderme e de floema, sem, contudo, danificar o câmbio vascular da planta. Portanto, são doenças que interferem na eficiência da fotossíntese e, também, no aproveitamento e na translocação das substâncias elaboradas ou fotossintetizadas. Neste grupo de doenças, foram descritos diversos patógenos em teca, tais como: *Pestalotiopsis* sp., *Alternaria* sp. (Dailom et al., 2016), *Pseudocercospora* sp. (Andrade, 2016), *Rhizoctonia solani* (Poltronieri, 2008), *Calonectria ilicicola* (=*Cylindrocladium parasiticum*), *Xanthomonas axonopodis*, *Phyllactina guttata*, *Uncinula tectonae*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Paramyrothecium roridum*, *Olivea neotectonae*, *Phomopsis tectonae* e *Lasiodiplodia theobromae* (Alfenas, 2017). E, recentemente, Borges et al. (2019) relataram a presença do Tomato Chlorosis Vírus (ToCV) em mudas de teca, em casa de vegetação.

Dentre esses, os patógenos encontrados com maior frequência no Brasil são: *Olivea neotectonae*, agente causal da ferrugem da teca; *Phomopsis tectonae*, agente causal da mancha foliar e seca de ponteiros; *Lasiodiplodia theobromae*, agente causal do cancro da teca; *Paramyrothecium roridum*, agente causal da mancha foliar e podridão de estacas em viveiro e a bactéria *Xanthomonas axonopodis* que causa a mancha foliar.

Ferrugem

A ferrugem da teca, causada pelo fungo *Olivea neotectonae* (T. S. Ramakrishnan & K. Ramakrishnan) Buriticá & Salazar (=*Olivea tectonae*), tem ampla distribuição mundial, com relatados na América Central, na América do Sul, na Ásia e na Oceania. No Brasil, já foi relatada em diversos estados como: Amazonas, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Sergipe e Tocantins (Cabral et al., 2010; Bonaldo et al., 2011; Pieri et al., 2011; Caldeira et al., 2014; Mesquita et al., 2016).

É uma doença que incide tanto no viveiro quanto em plantas no campo. Os primeiros sintomas são observados em folhas expandidas e maduras, surgindo como pequenas lesões cloróticas, com presença de pústulas amareladas à alaranjadas, devido à intensa produção de urediniósporos na face abaxial das folhas. Com o progresso da doença, observam-se lesões angulares de tonalidade marrom à cinza na face adaxial das folhas. Essas lesões podem coalescer e atingir todo o limbo foliar, deixando as folhas com um aspecto de queima (Figura 14). Em genótipos altamente suscetíveis, é comum ocorrer intensa desfolha. No campo, a doença pode ocorrer tanto em plantas jovens, quanto em plantas adultas, sendo que a desfolha prematura da planta reduz o incremento volumétrico.

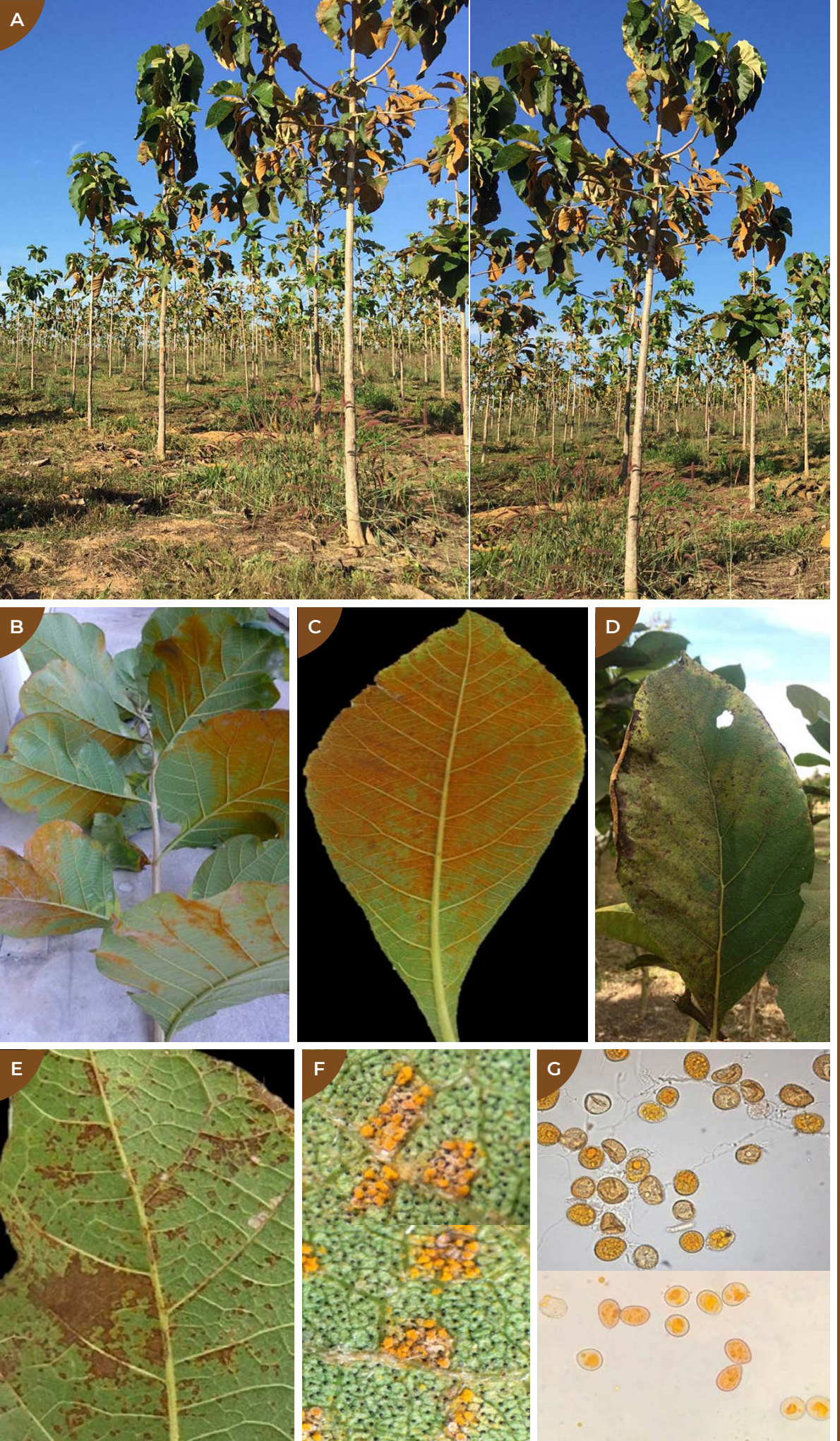


Figura 14. Sintomas e sinais da ferrugem da teca causada por *Olivea neotectonae*: plantio jovem com sintomas da ferrugem (A), folhas expandidas com presença de pústulas amareladas à alaranjadas na face abaxial (B e C), lesões ocupando grande parte do limbo foliar (D), lesões pequenas e angulares distribuídas no limbo foliar (E), pústulas urediniospóricas na face abaxial da folha (F) e urediniósporos típicos desse patógeno (G).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

A melhor e mais eficiente forma de controle da ferrugem é o plantio de genótipos resistentes. Recentes estudos e observações de campo indicam a existência de variabilidade para resistência, o que permite a seleção e o plantio de clones resistentes. O controle químico pode ser uma alternativa viável, especialmente em condições de viveiro. No entanto, não há fungicidas registrados para a recomendação de controle da ferrugem da teca no Brasil.

Mancha foliar e seca de ponteiros de phomopsis

A mancha foliar e a seca de ponteiros causadas por *Phomopsis tectonae* D. P. Tiwari, R. C. Rajak & Nikhra em teca ocorrem no Brasil, na Costa Rica, na Índia, no México e na Venezuela (Arguedas et al., 2004; Kavasaki et al., 2012; Doilom et al., 2016). Essa doença é comumente observada no campo, em árvores jovens, com idade entre 6-24 meses. O principal sintoma da doença é a seca dos brotos dos ramos laterais e do meristema apical, podendo causar a seca de toda a planta (Figura 15A-C). Nos tecidos infectados, observam-se lesões necróticas com aspecto de queima, trincamento da casca, minicancros e presença de picnídios de coloração escura (Figura 15). Nas folhas, são formadas pequenas lesões de coloração marrom, inicialmente circulares, mas que evoluem e podem ocupar grande parte do limbo foliar.

Não há estudos sobre as condições favoráveis para a ocorrência da doença, mas parece estar associada ao desequilíbrio nutricional, especialmente pela deficiência de cálcio e boro.

Cancro da teca

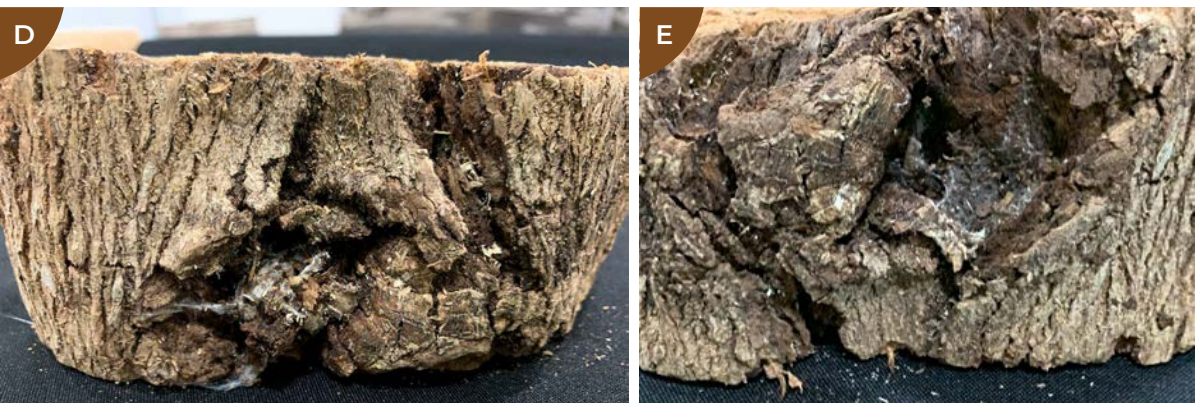
O cancro da teca causado pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl. foi relatado no Brasil, pela primeira vez, em 2015 (Borges et al., 2015b), mas essa doença também ocorre em outros países, como: Costa Rica, Índia, Tailândia e Tanzânia (Doilom et al., 2016).

Os sintomas da doença são: o desprendimento e a fissura da casca, cancro ou minicancro no fuste da planta, o escurecimento e a morte dos tecidos da periderme e floema e, geralmente, com presença de gomose (Figura 16). Pouco se conhece sobre o real impacto dessa doença e sobre as condições favoráveis para a sua ocorrência, mas certamente as operações de desrama podem constituir portas de entradas para o patógeno, especialmente quando a operação é realizada em períodos de chuva.



Figura 15. Sintomas e sinais da seca de ponteiros em teca, causada por *Phomopsis tectonae*: seca de ramos laterais (A), seca de ponteiros (B), seca generalizada de plantas no campo (C), seca do meristema apical e morte do ponteiro (D, E e F), lesões necróticas, trincamento da casca e minicancros (G, H e I), presença de esporulação do patógeno (picnídios) no tecido infectado (J e K), picnídio e conídios típicos do patógeno (L) e cultura do fungo em meio BDA (M).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).







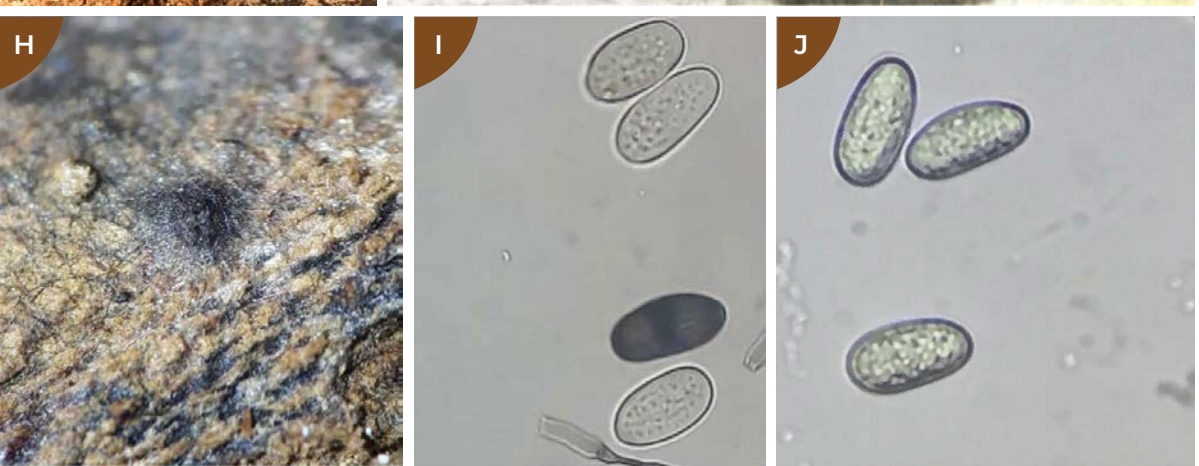


Figura 16. Sintomas e sinais do cancro da teca causado por *Lasiodiplodia theobromae*: estufamento do fuste, geralmente em locais onde foram realizadas podas dos galhos (A, B, C, D e E), danos causados na madeira (F), estruturas do patógeno na madeira, após acondicionamento em câmara úmida (G e H) e conídios característicos do fungo (I e J).

Mancha foliar e podridão de estacas

A mancha foliar e a podridão de estacas causadas pelo fungo *Paramyrothecium roridum* (Tode) L. Lombard & Crous (=*Myrothecium roridum*) são encontradas com maior incidência em viveiros. O patógeno provoca manchas foliares arredondadas de coloração cinza, com anéis concêntricos e bordas arroxeadas e pode provocar o anelamento e a necrose do coleto nas estacas, provocando a sua morte. Nos tecidos infectados, pode-se observar as estruturas reprodutivas do fungo, as quais são esporodóquios de coloração preta circundados por hifas de coloração branca (Figura 17).

P. roridum é um patógeno comum em culturas agrícolas e já foi detectado na teca em Taiwan (Matsushima, 1980) e no Brasil, a partir de 2016 (Arenhart, 2017; Borges et al., 2018b).

Infelizmente, até o presente não há estudos sobre as técnicas de manejo para prevenir ou controlar a doença. Mas, assim como ocorre para a cultura do eucalipto, o manejo integrado, que se baseia no emprego de medidas que visam, em primeiro lugar, erradicar as fontes de inóculo, reduzir as condições favoráveis à infecção e favorecer o crescimento das mudas, são fundamentais para minimizar as perdas.

Mancha bacteriana

A mancha bacteriana causada por *Xanthomonas axonopodis* ocorre, principalmente, em mudas e em plantas jovens no campo, especialmente em época chuvosa, pois a presença de água livre favorece a movimentação e a penetração da bactéria nos tecidos da planta. Há registros da mancha bacteriana causada por *X. axonopodis* na Índia (Parkinson et al., 2009) e no Brasil (Arenhart, 2017). A espécie de *X. fuscans* também já foi identificada no Brasil, causando mancha foliar em teca (Borges et al., 2018a).

Os sintomas característicos da doença são manchas angulares do tipo anasarca entre as nervuras, mas, com o passar do tempo, tornam-se necróticas e de coloração marrom (Figura 18). A doença pode ainda provocar outros sintomas como: necrose em pecíolos e ramos, perfurações nos pontos lesionados com maior incidência de lesões na nervura principal e nas margens da folha. As folhas completamente expandidas são as mais suscetíveis à bacteriose foliar. A presença da bactéria nos tecidos lesionados é confirmada mediante teste de exsudação microscópica que, em caso positivo, será visualizado um fluxo bacteriano saindo do tecido.



Figura 17. Sintomas e sinais da mancha foliar e da podridão de estacas causadas por *Paramyrothecium roridum* em teca: mancha foliar característica da doença (A, B, C e D), queima na base das estacas (E), podridão de estacas com estruturas do patógeno crescendo na superfície das estacas (F, G e H), conidióforos e conídios típicos do patógeno (I e J) e colônia do fungo (K). Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

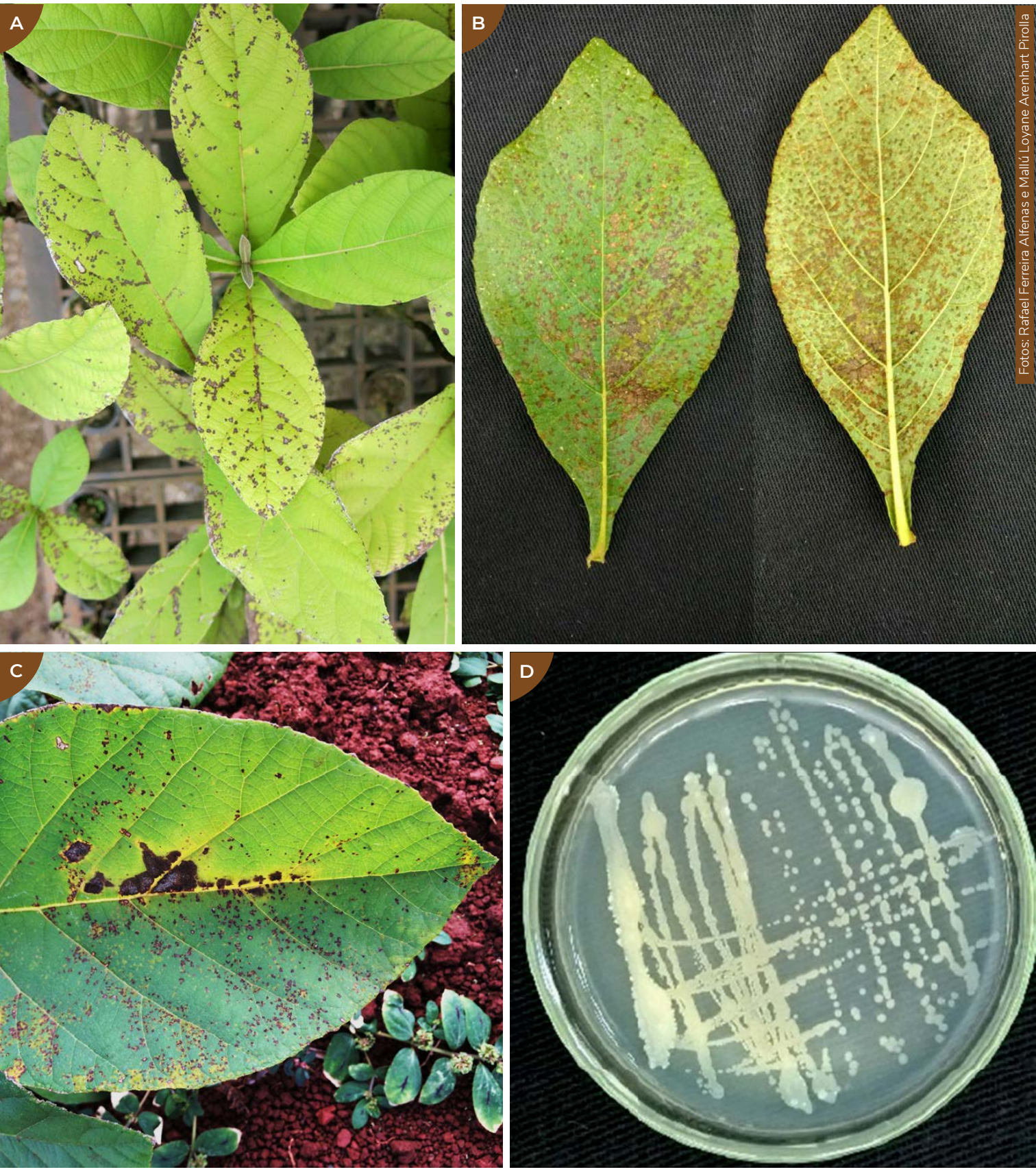


Figura 18. Mancha foliar causada por *Xanthomonas axonopodis*, em mudas de teca: manchas angulares típicas da doença (A, B e C) e aspecto da colônia bacteriana (D).
Fonte: Caldeira e Alfenas (2022).

Considerações finais

É essencial e estratégico para o Brasil realizar investimentos privados, em parceria com as instituições de pesquisa, em programas de melhoramento genético, em silvicultura e manejo e, principalmente, em proteção florestal, para garantir a sustentabilidade econômica dos projetos de investimento e impedir que doenças bióticas e abióticas comprometam o retorno esperado.

Referências

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. Amsterdan: Elsevier Academic Press, 2005. 948 p.

ALEXANDRE, F. S. **Estratégias de avaliação da resistência à murcha-de-ceratocystis causada por *Ceratocystis fimbriata* em *Tectona grandis***. 2020. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, A. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 500 p.

ALFENAS, R. F.; ARENHART, M. L.; ALEXANDRE, F. S.; MAITAN-ALFENAS, G. P. Root collar rot, a new lethal disease on *Tectona grandis* caused by *Kretzschmaria zonata* in Brazil. **Plant Disease**, p. 221, 2021. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0641-PDN.

ALFENAS, R. F. **Principais doenças da teca no Brasil**. Revista Opiniões, n. 46, p. 14-15, 2017.

ANDRADE, K. M. **Caracterização de fungos Cercospóroides associados à vegetação de Mata Atlântica e cercanias, no estado do Rio de Janeiro**. 2016. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

ARAÚJO FILHO, J. V.; MACHADO, A. C. Z.; FARIA, R. S. C. A.; CAMARGO, L. E. A. Root-knot disease caused by *Meloidogyne arenaria* and *Meloidogyne javanica* in Teak in São Paulo State, Brazil. **Plant Disease**, v. 96, p. 151, 2012. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0442.

ARENHART, M. L. P. **Levantamento de doenças bióticas e abióticas que ocorrem em *Tectona grandis* L. f. no estado de Mato Grosso**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop.

ARGUEDAS, M.; CANNON, P.; WINGFIELD, M.; MONTENEGRO, F. Principales riesgos fitossanitarios en las plantaciones de teca. In: CAMINO, R.; MORALES, J. P. **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Costa Rica: CATIE, Turrialba, 2013. p. 134-155.

ARGUEDAS, M.; CHAVERRI, P.; VERJANS, J. M. Problemas fitosanitarios de la teca en Costa Rica. **Recursos Naturales y Ambiente**, v. 41, p. 130-135, 2004.

BELEZACA-PINARGOTE, C.; SOLANO-APUNTES, E.; LÓPEZ-TOBAR, R.; CÓNDOR-JIMÉNEZ, M.; BELTRÁN-CASTRO, F.; DÍAZ-NAVARRETE, P. *Ceratocystis fimbriata* agente causal de la enfermedad de marchitez vascular de *Tectona grandis* L. f. (teca) en Ecuador. **Boletín Micológico**, v. 35, n. 1, p. 17-25, 2020. Disponível em: https://revistas.uv.cl/index.php/Bolmicol/article/download/2401/pdf_1. Acesso em: 25 ago. 2021.

BONALDO, S. M.; BARCELI, A. C.; TRENTO, R. A.; GASPAROTTO, F.; TAFFAREL, C. Relato oficial da ocorrência de *Olivea tectonae* em teca (*Tectona grandis*) no Brasil. **Summa Phytopathologyca**, v. 37, n. 3, p. 153, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000300015.

BORGES, R. C. F.; ROSSATO, M.; SANTOS, M. D. M.; FERREIRA, M. A.; FONSECA, M. E. N.; REIS, A.; BOITEUX, L. S. First report of a leaf spot caused by *Paramyrothecium roridum* on *Tectona grandis* in Brazil. **Plant Diseases**, v. 102, n. 8, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-09-17-1364-PDN.

BORGES, R. C. F.; MACEDO, M. A.; CABRAL, C. S.; ROSSATO, M.; FONTES, M. G.; SANTOS, M. D. M.; FERREIRA, M. A.; FONSECA, M. E. N.; REIS, A.; BOITEUX, L. S. Vascular wilt of teak (*Tectona grandis*) caused by *Fusarium oxysporum* in Brazil. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 57, n. 1, p. 115-121, 2018c. DOI: https://doi.org/10.14601/PHYTOPATHOL_MEDITERR-20896.

BORGES, R. C. F.; MACEDO, M. A.; FONSECA, M. E. N.; MARTINS, I.; FERREIRA, M. A.; BOITEUX, L. S. Reação de acessos de teca (*Tectona grandis*) a *Ceratocystis fimbriata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 8., Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: SBMP, 2015a. p. 1013.

BORGES, R. C. F.; ROSSATO, M.; SANTOS, M. D. M.; CABRAL, C. S.; ALBUQUERQUE, G. M. R.; FERREIRA, M. A.; FONSECA, M. E. N.; BOITEUX, L. S. A leaf spot of *Tectona grandis* caused by *Xanthomonas fuscans* in Brazil. **Journal of Plant Pathology**, v. 101, p. 431, 2018a. DOI: https://doi.org/10.1007%2Fs42161-018-00203-4.

BORGES, R. C. F.; FONTES, M. G.; MACEDO, M. A.; LIMA, M. F.; BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N. First report of Tomato Chlorosis Virus infecting *Tectona grandis* associated with infestation of *Bemisia tabaci* Mediterranean in Central Brazil. **Plant Disease**, v. 103, n. 10, 2019. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1840-PDN.

BORGES, R. C. F.; SANTOS, M. D. M.; MACEDO, M. A.; MARTINS, I.; NASCIMENTO, A. G.; CAFE-FILHO, A. C.; BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N.; INACIO, C. A.; MELLO, S. C. M. A trunk canker disease of *Tectona grandis* induced by *Lasiodiplodia theobromae* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 31, p. 26, 2015b. DOI: https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.031.026.

CABRAL, P. G. C.; CAPUCHO, A. S.; PEREIRA, O. L.; MACIEL-ZAMBOLIM, E.; FREITAS, R. L.; ZAMBOLIM, L. First report of teak leaf rust disease caused by *Olivea tectonae* in Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 5, p. 113-114, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/BF03215901.

CALDEIRA, S. F.; ALFENAS, R. F. Manejo de doenças. In: TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. (ed.). **Teca**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2022. p. 193-216.

CALDEIRA, S. F. Doenças abióticas e bióticas da teca no Brasil. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M. da; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia Florestal**: desafios e perspectivas. São Carlos, SP: Suprema, 2013. p. 219-244.

CALDEIRA, S. F.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G. Doenças da teca. In: GASPAROTO, L.; BENTES, J. L. S.; PEREIRA, J. C. R. (ed.). **Doenças de espécies florestais arbóreas nativas e exóticas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 171-194.

DELMADI, L. C. ***Tectona grandis* L**. f.: Patologia de frutos, patogenicidade e epidemiologia. 2017. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152751/delmadi_lc_dr_botfca_sub.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em: 8 abr. 2021.

DOILOM, M.; TAYLOR, J. E.; BHAT, D. J; CHUKEATIROTE, E.; HYDE, K. D.; TO-ANUN, C.; JONES, E. B. G. Checklist of fungi on teak. **Mycosphere**, v. 7, n. 5, p. 656-678, 2016. DOI: htt5ps://doi.org/10.5943/mycosphere/7/5/11.

FERREIRA, M. A.; ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. *Ceratocystis fimbriata* em espécies florestais e agronômicas no Brasil. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M. da; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia florestal**: desafios e perspectivas. São Carlos, SP: Suprema, 2013. p. 75-101.

FIRMINO, A. C.; TOZZE JÚNIOR, H. J.; FURTADO, E. L. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt in *Tectona grandis* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 25, p. 24, 2012. DOI: https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.024.

GARCÍA DÍAZ, S. E.; PÉREZ VERA, O. A.; HERNÁNDEZ COLULA, O.; FUCIKOVSKY-ZAK, L.; MÉNDEZ-MONTIEL, J. T. Tizon foliar de la teca en vivero causada por *Ralstonia solanacearum* Biovar 4 en Tabasco, Mexico. **Investigacion y Ciencia**, n. 57, p. 5-10, 2013.

IBÁ: Indústria Brasileira de Árvores. Brasília, DF, 2019. 79 p. Relatório 2019. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

KAVASAKI, K. F. L.; BONALDO, S. M.; TRENTO, R. A. Ocorrência de *Phomopsis* sp. em *Tectona grandis* no Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 10, n. 2, p. 219-224, 2012.

MATSUSHIMA, T. Matsushima Mycological Memoirs No. 1. Saprophytic Microfungi from Taiwan, Part 1. Hyphomycetes. **Matsushima Fungus Collect**. Kobe, Japan, 1980. 82 p.

MESQUITA, J. B.; SANTOS, I. T. B. F.; RIBEIRO, G. T.; SANTOS, M. J. C. Ocorrência de ferrugem (*Olivea neotectonae*) em plantas de teca no estado de Sergipe. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 3, p. 278-279, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0100-5405/2121.

MIDGLEY, S.; MOUNLAMAI, K.; FLANAGAN, A.; PHENGSOPHA, K. **Global markets for plantation teak**: implications for growers in Lao PDR. Canberra: ACIAR, 2015. 74 p. (ACIAR. FST/2010/012). Disponível em: http://laoplantation.org/wp-content/uploads/2018/08/VALTIP-Teak-Market-Report-Midgley-et-al.pdf. Acesso: 13 jul. 2021.

MIRANDA, M. C. **Caracterização morfológica e avaliação do desenvolvimento de clones de Teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

OLIVEIRA, A.; SILVA, R. Ocorrência e patogenicidade de *Meloidogyne javanica* sobre plantas de teca (*Tectona grandis* Linn. f.). **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 563-569, 2013.

PARKINSON, N.; COWIE, C.; HEENEY, J.; STEAD, D. Phylogenetic structure of *Xanthomonas* determined by comparison of gyrB sequences. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 2, p. 264-274, 2009. DOI: https://doi.org/10.1099/ijs.0.65825-0.

PIERI, C.; PASSADOR, M. M.; FURTADO, E. L.; JUNIOR, A. A. C. Ferrugem da teca (*Olivea neotectonae*): novas ocorrências no Brasil e revisão do nome específico. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 4, p. 199-201, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000400006.

POLTRONIERI, L. S.; VERZIGNASSI, J. R.; BENCHIMOL, R. L. *Tectona grandis*, nova hospedeira de *Rhizoctonia solani* no Pará. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 2, p. 291, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-54052008000300023.

TOVAR, D. C.; PÉREZ VERA, O. A.; GARCÍA DÍAZ, S. E.; MEDEL ORTIZ, R.; TOVAR, J. C. *Kretzschmaria zonata* (Lév.) P. M. D. Martin, causante de la pudrición del cuello y la raíz de teca. **Revista Ciências Florestales**, v. 5, n. 25, p. 110-118, 2014.

WEST, J. A preliminary list of plant diseases in Nigeria. **Kew Bull**, v. 1, p. 17-23, 1938.



13

Entomofauna associada à teca

Otávio Peres Filho
Rogério Goularte Moura
Alberto Dorval
Alexandre dos Santos
Marcelo Dias de Souza
Lilian Guimarães de Favare

Introdução

A teca (*Tectona grandis* Linn. f.) foi trazida ao Brasil pelo engenheiro Edmundo Navarro de Andrade, para plantios experimentais no Horto Florestal de Rio Claro-SP (Moura, 2012). Décadas depois foi plantada em experimentos na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, em Piracicaba, no estado de São Paulo, revelando crescimento superior em relação às espécies nativas produtoras de madeira de elevado valor comercial (Moura, 2012). Atualmente, o Brasil tem a maior área plantada da América Latina, espalhada pelos estados de Mato Grosso, Pará, Rondônia, Acre, Goiás, Minas Gerais, dentre outros. O Mato Grosso e o Pará concentram mais de 90% da área plantada de teca no País (Coutinho, 2017).

Como qualquer outra espécie florestal, a teca também está sujeita ao ataque de insetos, sendo que a quantidade de insetos-pragas registrados, alimentando-se da teca, supera a 187 espécies (Nair, 1986). Estudos realizados no Brasil registram diversas espécies de insetos associados à cultura da teca, sendo algumas espécies produtoras de danos econômicos e outras com importância irrelevante em termos de danos produzidos nas plantas. Neste capítulo foram listadas apenas as espécies mais importantes, sob o aspecto de danos produzidos ao cultivo da teca e à sua madeira. Todavia, essa lista tende a se expandir em decorrência das diferenças edafoclimáticas regionais, caso a área plantada seja aumentada.

Esse capítulo visa sintetizar informações sobre as principais pragas registradas em plantios de teca, para interessados do setor florestal, tais como: empresários, alunos de graduação e de pós-graduação, docentes e profissionais.

Controle das pragas

O setor florestal trabalha basicamente com dois tipos principais de controle de pragas: indireto ou preventivo e direto ou supressivo. O primeiro leva em consideração as práticas silviculturais rotineiras e a redução da oferta de alimentos e o segundo considera diversos métodos de controle, tais como: biológico, químico, comportamental, resistência de plantas, dentre outros. Normalmente, o controle indireto é sempre o primeiro a ser utilizado, devendo-se recorrer ao controle direto, quando o primeiro não surtir efeito satisfatório na redução das populações das pragas.

O controle químico, por suas implicações ambientais em culturas perenes, deve ser utilizado em poucas situações e quando estritamente necessário. Por outro lado, poucos inseticidas têm sido oficialmente autorizados para o setor florestal, bastando dizer que, para a teca, apenas quatro pragas têm registros de controles químicos autorizados pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), sendo: a quenquém-de-cisco (*Acromyrmex crassispinus*), a saúva-limão (*Atta sexdens rubropilosa*), o cupim-de-chifre (*Cornitermes bequaerti*) e o cupim (*Syntermes molestus*) (Brasil, 2021).

Portanto, no decorrer deste capítulo serão apresentadas sugestões de controle, levando-se em consideração a ausência de produtos oficialmente regulamentados.

Pragas e nutrição de plantas

A ecologia nutricional pode se tornar um dos pilares para o controle de pragas, baseado no balanço nutricional das plantas. Isso quer dizer que um plantio poderá ficar comprometido, seja pela adubação inadequada ou pela ausência de nutrientes decorrentes do tipo de solo onde estiver o reflorestamento, pois o manejo da nutrição florestal é determinante na produtividade do sistema.

As recomendações nutricionais para teca, ainda pouco estudadas, são baseadas em outras espécies florestais, sem considerar as necessidades inerentes à espécie. Em geral, busca-se o maior desempenho dos reflorestamentos e espera-se, ainda, que a disponibilidade de nutrientes seja modificada de acordo com a necessidade do cultivo (Moya et al., 2014), considerando-se que a adubação mineral está relacionada com o desenvolvimento da praga sobre o hospedeiro. Esta interação traz consequências quanto ao desempenho, à reprodução e à intensidade de ataque dos insetos.

Quando há a redução da sobrevivência nesta interação, menor reprodução dos insetos e, ou rejeição da planta, tem-se, então, a resistência sistêmica induzida, caracterizada pela manifestação de uma resistência temporária devido às condições especiais do ambiente. Parra (1991) definiu a nutrição qualitativa como aquela que envolve exigências nutricionais, sob o ponto de vista químico, que se reflete, no caso dos insetos, em exigências básicas em aminoácidos, vitaminas, sais minerais (nutrientes essenciais), carboidratos, lipídios e esteróis (nutrientes não essenciais). Os nutrientes podem desempenhar ainda a função de estimulantes de alimentação para os insetos. Os açúcares são considerados os principais

fagoestimulantes, seguidos pelas proteínas (aminoácidos) e esteróis, além dos sais, vitaminas, compostos orgânicos e ácidos orgânicos.

Quando o inseto sai a procura de uma planta hospedeira, as características morfológicas e fisiológicas desta proporcionam respostas diferentes, principalmente, quanto ao metabolismo secundário. A ausência ou excesso de determinado nutriente na árvore a torna atrativa e susceptível às pragas. Esses distúrbios causam desordens ao processo fotossintético, bem como à defesa da planta, onde haverá degradação de proteínas e disponibilidade de substâncias solúveis, favorecendo o ataque de insetos.

Os nutrientes podem ser considerados como agentes de interação na seleção de hospedeiro, com forte correlação no processo simbionte entre a praga e a planta hospedeira. Por exemplo, a duração da refeição ou os intervalos entre refeições são afetados pelos aminoácidos, pois os insetos são hábeis em distinguir altas concentrações de proteínas nas plantas em relação às baixas, por aprendizagem associativa e, ainda, segundo Bernays e Chapman (1994), o consumo de proteína estimula a atividade de enzimas digestivas dos insetos.

Os insetos têm como exigências nutricionais básicas os aminoácidos, as vitaminas e os sais minerais (nutrientes essenciais) e os carboidratos, os lipídios e os esteróis (nutrientes não essenciais), os quais devem ser adequadamente balanceados, com adições de alguns grupos restritos exigentes em ácidos nucléicos e, mesmo, vitaminas lipossolúveis. Na fase adulta dos insetos, a alimentação está associada à produção de ovos, fontes como aminoácidos livres constituem os principais nutrientes de sugadores especializados tais como percevejos (exemplo: *Nezara viridula*) e pulgões (ex: *Aphis spiraecola*), que encontram, no floema, a seiva solúvel à alimentação com pouca ou nenhuma proteína (Panizzi; Parra, 2009).

Dentre os minerais, o nitrogênio é o elemento mais estudado na ecologia dos insetos, pois faz parte da composição de moléculas orgânicas, atuando diretamente na qualidade do alimento. Relaciona-se intimamente com a quantidade de aminoácidos circulantes na seiva do floema, a qual, em excesso, promove o aumento da concentração de aminoácidos e de amidos no apoplasto e na superfície foliar (Epstein; Bloom, 2006), deixando as folhas mais atrativas, suculentas e suscetíveis à alimentação/ataque dos insetos. De acordo com Bernays e Chapman (1994), os aminoácidos livres compõem cerca de 5% dos nutrientes nitrogenados da planta e sua concentração total não é necessariamente correlacionada com o conteúdo de proteína, podendo ter um papel mais importante na seleção do alimento pelo inseto.

Os carboidratos, definidos como as substâncias mais simples encontradas em todas as células vivas, são importantes fontes de energia prontamente disponíveis para os insetos, principalmente aos fitófagos (Bernays; Chapman, 1994). De acordo com Miller e Miller (1986), alguns açúcares desempenham ainda a função de estimulantes da alimentação ou de fagoestimulantes, por meio de estímulos às enzimas do inseto, induzindo o aumento no consumo de alimento e, consequentemente, do crescimento corporal.

A proporcionalidade nutricional encontrada entre as proteínas e os carboidratos foi destacada por Parra (1991). Como exemplo, têm-se as folhas, onde são muito comuns os níveis de proteínas e açúcares serem inversamente correlacionados (Bernays; Chapman, 1994). Nas folhas mais novas, há maior quantidade de proteínas e, nas mais velhas, há tendência de maior riqueza de carboidratos. De acordo com estes autores, apesar de os insetos, ao selecionarem plantas com altos conteúdos de açúcares, reduzirem os consumos relativos de proteínas, aqueles especialistas são potencialmente hábeis em obter um balanço de carboidratos e de proteínas na alimentação, por meio de uma seleção de folhas de diferentes idades.

As vitaminas são substâncias orgânicas relativamente simples, necessárias em pequenas quantidades na dieta para garantir o funcionamento metabólico normal do organismo. Estas substâncias diferem muito na sua estrutura química, porém, têm em comum o fato de não serem sintetizadas em quantidades adequadas pelos animais e, por isso, devem estar presentes na dieta (Villee et al., 1988). Segundo Parra (2001), a vitamina C está presente nas plantas verdes e pode ter a função de fagoestimulante para insetos.

A transferência de energia e o desenvolvimento das partes reprodutivas do vegetal são garantidas pelas ações do fósforo nos processos metabólicos. Ortiz et al. (2017) observaram a preferência de *Acromyrmex rugosus* e *A. balzani* às mudas de três espécies de eucalipto tratadas com fósforo. Supõe-se que, na seleção de hospedeiro, houve favorecimento na degustação, o que não ocorre aos outros metabólicos secundários mais complexos. As formigas cortadeiras selecionam o hospedeiro de acordo com as necessidades dos fungos cultivados em seus ninhos, daí sua diferença em relação aos outros insetos em processo alimentar.

De acordo com Parra (1991), os insetos necessitam de quantidades consideráveis de potássio, fosfato e magnésio e de pouco cálcio, sódio e cloro para seu crescimento e

desenvolvimento. Contudo, a presença do potássio auxilia no espessamento da parede celular de células da epiderme das plantas, no controle de abertura e de fechamento dos estômatos, sendo o responsável pela turgidez do tecido, nas células favorece as reações fotossintéticas, bem como os processos metabólicos. Como se trata de nutriente de maior efeito benéfico para a sanidade de muitas espécies vegetais, o potássio contribui para a recuperação de tecidos que sofreram injúrias (Fernandes et al., 2013). Na predação por lagartas desfolhadoras, por exemplo, sua ação pode ajudar na cicatrização dos tecidos após ataque.

A adequada concentração do cálcio contribui para a estabilidade das biomembranas. Porém, quando em baixos níveis, há aumento do fluxo de compostos de baixos pesos moleculares (açúcares) do citoplasma para o apoplasto, favorecendo a possível atratividade do hospedeiro. Funcional na divisão e no desenvolvimento celular, o cálcio age na estrutura da parede celular e na formação da lamela média (Epstein; Bloom, 2006). Sua ausência afeta o desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas (com disfunções que podem atrair cupins subterrâneos), culminando em má absorção dos nutrientes disponíveis e com consequente desequilíbrio nutricional.

A maioria das plantas sintetiza as toxinas que afetam os insetos herbívoros, contudo, essa barreira de defesa tem um custo metabólico, que é requerido em determinados períodos anuais e, ou fases de desenvolvimento das plantas, evitando fertilizações excessivas e sem liberação de radicais livres. Os compostos secundários, também denominados de aleloquímicos, podem desestimular o ataque de alguns insetos fitófagos, atuando como alomônios ou estimular outros a se alimentarem de certas plantas, atuando como cairomônios (Daly et al., 1978). As composições químicas das folhas de diferentes plantas, assim como as necessidades nutricionais dos insetos, diferem relativamente pouco entre si, atribuindo à especificidade inseto/planta a presença de substâncias químicas que conferem estímulo aos órgãos sensoriais do olfato e da gustação.

Os fornecimentos de minerais aos solos florestais devem ser realizados de forma fracionada, segundo a fase de desenvolvimento das árvores, sincronizados com o ritmo de crescimento do povoamento florestal.

O uso eficiente de fertilizantes, aliado ao manejo integrado de pragas, promove a mitigação de custos de produção e proporcionam menores chances de seleção de insetos resistentes aos inseticidas utilizados.

Entomofauna

A lista dos principais insetos que danificam a teca, de acordo com o hábito alimentar e com status de danos, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Lista dos principais insetos que danificam a teca de acordo com o hábito alimentar.

HÁBITO ALIMENTAR Ordem do inseto	Família do inseto	Nome científico	Etapas da planta	Status da praga (dano)
DESFOLHADORES				
Hymenoptera	Formicidade	*Acromyrmex subterraneus*	Todas*	2
	Formicidade	*Atta laevigata*	Todas	3
	Formicidade	*Atta sexdens rubropilosa*	Todas	3
Lepidoptera	Noctuidae	*Agrotis repleta*	Viveiro	2
	Noctuidae	*Spodoptera cosmioides*	Todas	2
	Noctuidae	*Spodoptera eridania*	Todas	2
	Saturniidae	*Dirphia rosacordis*	Todas	1”
	Hyblaeidae	*Hyblaea puera*	Todas	3
	Eucleidae	*Miresa clarissa*	Todas	1”
Orthoptera	Gryllidae	*Gryllus assimilis*	Viveiro	2
RIZÓFAGOS				
Blattodea (Isoptera)	Rhinotermitidae	*Coptotermes testaceus*	Campo	2
	Rhinotermitidae	*Heterotermes longiceps*	Campo	2
	Rhinotermitidae	*Heterotermes tenuis*	Campo	2
	Termitidae	*Cornitermes cumulans*	Campo	2
	Termitidae	*Syntermes molestus*	Mudas no campo e viveiro	2
SUCCÍVOROS				
Hemiptera	Pentatomidae	*Edessa meditabunda*	Campo (mudas)	2
	Pentatomidae	*Nezara viridula*	Campo (mudas)	2
	Pentatomidae	*Piezodorus guildinii*	Campo (mudas)	2
	Pentatomidae	*Euchistus heros*	Campo (mudas)	2
	Pseudococcidae	*Maconellicoccus hirsutus*	Todas	2

Continua . . .

Tabela 1. Continuação.

BROCAS DA MADEIRA				
Coleoptera	Cerambycidae	*Neoclytus pusillus*	Campo (madeira cortada)	3
	Bostrichidae	*Sinoxylon unidentatum*	Campo (madeira cortada)	3
	Curculionidae	*Xyleborus affinis*	Campo (madeira cortada)	2
	Curculionidae	*Xyleborus ferrugineus*	Campo (madeira cortada)	2

*Viveiro e campo. Danos produzidos: 1(baixo), 1" (baixo para a planta, porém elevado à saúde dos operadores de campo), 2 (médio) e 3 (elevado).
Fonte: Peres-Filho et al. (2022).

Nome científico: *Acromyrmex subterraneus subterraneus* Forel, 1839 (Hymenoptera, Formicidae).

Nome comum: Quenquém-de-cisco, caiapó e quenquém-preta.

Reconhecimento da praga e sintomas: Possuem ninhos cobertos de cisco, sendo pequenos, podendo atingir até 20 m^2, com olheiros abrindo no meio de crateras afuniladas nos montes de terra. São formigas menores que as saúvas. As panelas subterrâneas podem atingir até 1 m de profundidade. As operárias cortam folhas novas e tenras. Tem menor importância econômica que as saúvas (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Nome científico: *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera, Formicidae).

Nome comum: Saúva-limão.

Reconhecimento da praga e sintomas: São as mais importantes em virtude dos danos econômicos produzidos e pela ampla distribuição geográfica no território brasileiro. As operárias têm cheiro de limão, quando suas cabeças são esmagadas, dando origem ao seu nome comum. Formam ninhos com terra acumulada na superfície e com olheiros se abrindo no fundo das depressões tais como vulcões. Cortam folhas novas e, nos plantios novos, cortam os ponteiros, acarretando a morte da parte apical das mudas, provocando o aparecimento de brotações laterais, entouceirando, deformando a planta e atrasando o seu crescimento. Podem também cortar o pecíolo das folhas, deixando-as dependuradas e, em árvores adultas, atacam também a parte apical. Ataques sucessivos podem levar à morte do vegetal (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Nome científico: *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera, Formicidae).

Nome comum: Saúva cabeça-de-vidro.

Reconhecimento da praga e sintomas: Possuem menor importância econômica do que a saúva-limão, apresentam ninhos com montes de terra arredondados e cujos olheiros se abrem na superfície. Os soldados têm as cabeças brilhantes e são os maiores do gênero Atta (13-15 mm de comprimento) (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Controle de formigas: O controle de formigas cortadeiras em reflorestamentos com teca é feito, na maioria das vezes, pela aplicação de iscas, com os ingredientes ativos fipronil e sulfluramida, sendo 10 g de isca granuladas contendo fipronil por m^2 de terra solta, para controlar colônias de *Atta sexdens* e *A. laevigata* e 5 g por colônia para o controle de quenquém. Métodos culturais também podem ser utilizados, tais como práticas convencionais de gradagem e cultura-armadilha. A gradagem, realizada após o período de revoada, elimina os ninhos menores e, na cultura-armadilha, plantas como gergelim, mamona ou capim braquiarão atuam como plantas alternativas e, ou repelentes. O cultivo mínimo também é outra técnica de controle cultural de formigas cortadeiras. As manutenções dos sub-bosques e dos resíduos vegetais afetam diretamente a infestação por sauveiros, onde, em áreas sem sub-bosque nativo, o número de ninhos é 18 vezes maior que aquele em áreas com sub-bosque denso. O plantio em faixas de vegetação nativa, o uso de corredores de fauna entre os talhões ou a manutenção de fragmentos de florestas nativas próximos aos talhões têm sido realizados por algumas empresas florestais brasileiras, objetivando favorecer o controle biológico de alguns grupos de pragas e reduzir os custos de combate (Peres-Filho et al., 2006; 2022; Zanetti, 2007; Vitorino et al., 2015).

Nome científico: *Agrotis repleta* Walker, 1857 (Lepidoptera, Noctuidae).

Nome comum: Lagarta-rosca.

Reconhecimento da praga e sintomas: Adultos com aproximadamente 42 mm de envergadura, asas anteriores de coloração acinzentadas, com manchas negras e asas posteriores hialinas. As lagartas apresentam coloração parda-acinzentada. A sua biologia ainda é desconhecida. As lagartas permanecem no solo a pouca profundidade, entre os sacos plásticos das mudas ou debaixo de torrões. As lagartas, quando tocadas, se enrolam tomando a forma de rosca. Durante o dia são inativas e permanecem enterradas no solo, porém, à noite, sobem à superfície para se alimentar, cortando as mudas quando localizadas rentes à superfície do solo. Nos canteiros, seus ataques ocorrem em reboleiras (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Controle: Utilizar tubetes suspensos nos viveiros, evitando os ataques. Para as mudas produzidas em contato com o solo, pode-se utilizar o controle químico indicado para outras espécies de lagarta-rosca em outras culturas. Ressalta-se que não existe indicação registrada de inseticida para o controle dessa praga em teca. Podem também ser utilizadas iscas à base de melaço ou de açúcar misturados com inseticidas (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Nome científico: *Hyblaea puera* Cramer, 1777 (Lepidoptera, Hyblaeidae).

Nome comum: Lagarta-da-teca.

Reconhecimento da praga e sintomas: Os ovos apresentam coloração branca hialina, sendo dispostos em filas, ao lado das nervuras principais e secundárias, nas partes inferiores das folhas (Figura 1). As posturas são realizadas inicialmente na parte apical da copa. As lagartas se dispersam para as partes inferiores da copa, por meio de fios de seda que recobrem o vegetal, quando as infestações se tornam mais acentuadas. As lagartas ficam protegidas dentro das bordas de folhas, enroladas e unidas com fios de seda, saindo à noite para se alimentarem (Figuras 2 e 3). As pupas também ficam alojadas nestas estruturas (Figura 3). Em geral, o adulto possui 35 mm de envergadura, asas anteriores de coloração acinzentada, com manchas esbranquiçadas e escuras; asas posteriores de coloração marrom escura, com manchas na parte central e faixa em toda a extensão das bordas de cor alaranjada, tórax e abdome de cores acinzentadas, com faixas escuras no abdome (Figura 4). O ciclo total de vida de *H. puera* varia entre 21-33 dias, em condições de laboratório. O período de incubação dos ovos é 2-3 dias; a fase larval entre 1-16 dias; a fase de pupa entre 4-7 dias e a fase adulta entre 4-7 dias. É considerada a principal praga da teca na Índia e uma das mais importantes aos cultivos de teca no Brasil. Ocorre nos meses de outubro a março, no período das chuvas, no estado de Mato Grosso. As lagartas podem atacar mudas de teca em viveiro e, também, árvores no campo, em qualquer estágio. No campo, o ataque se inicia em folhas jovens, entre as nervuras secundárias, com surtos começando inicialmente em epicentros, podendo se espalhar por todos os talhões. Sem o devido controle, podem provocar desfolhas severas. No Brasil, essa espécie também foi registrada, causando o desfolhamento de espécies nativas de mangue, tais como *Rhizophora mangle*, *Avicennia geminans* e *A. shaueriana*, na Baixada Santista, no município de Cubatão, estado de São Paulo, em 2006 (Peres-Filho et al., 2006). Recentemente, foi registrada atacando *A. schaueriana,* em área aproximada de 20 mil ha, em manguezais no estado do Paraná (Faraco et al., 2019).

Controle: No Brasil, não há controle químico recomendado para *H. puera*. O uso de *Bacillus thuringiensis* tem propiciado resultados satisfatórios, sendo utilizado na Índia (Peres-Filho et al., 2006; 2022). Outros agentes de controle biológico foram constatados, como moscas taquinídeas, *Eucelatoria aurescens* Townsend, 1917, *Chetogena* spp. Rondani e *Cotesia* sp. (Hymenoptera, Braconidae) parasitando lagartas. Há registro de predação de lagartas no campo por *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera, Pentatomidae) (Peres-Filho et al., 2015b).



Figura 1. Ovos de *Hyblaea puera* ao lado das nervuras, na parte inferior da folha de teca.
Fontes: Peres-Filho et al. (2006, 2022).

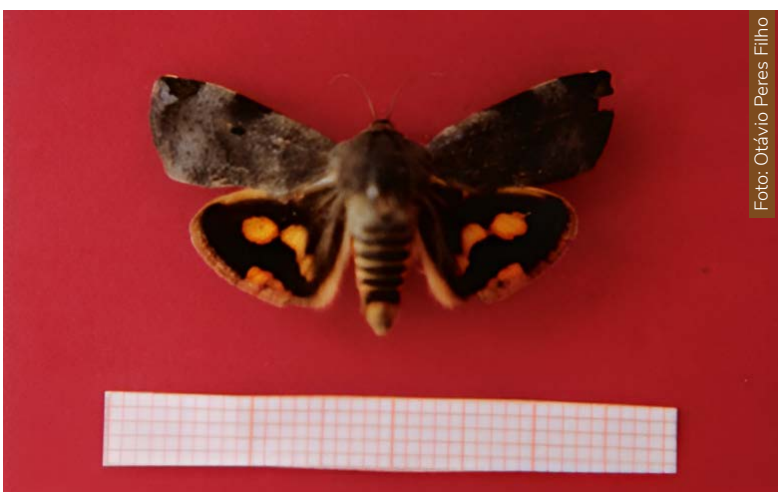
Figura 2. Lagarta de *Hyblaea puera* em folha de teca.
Fonte: Peres-Filho et al. (2006, 2022).





Figura 3. Pupa de *Hyblaea puera* envolvida em seu casulo, na borda da folha de teca.
Fontes: Peres-Filho et al. (2006, 2022).

Figura 4. Adulto de *Hyblaea puera*, vista dorsal.
Fonte: Peres-Filho et al. (2006, 2022).



Nome científico: *Miresa clarissa* Stoll, 1790 (Lepidoptera, Limacodidae).

Nome comum: Lagarta-tanque.

Reconhecimento da praga e sintomas: As lagartas têm o corpo achatado, de coloração verde, com pelos curtos e urticantes recobrindo o corpo (Figura 5). Os casulos pupais são facilmente reconhecidos por ficarem aderidos ao fuste e aos ramos, em pequenos aglomerados; são rígidos e urticantes (Figura 6). As mariposas adultas têm 35 mm de envergadura de asas, com as asas anteriores de coloração predominante marrom, com tons acinzentados e faixa branca nas extremidades próximas à margem lateral. O corpo é piloso no tergo torácico, revestido de pelos amarelos. O abdome é revestido de pelos de coloração marrom, marrom acinzentada e branca (Figura 7). A biologia da espécie é desconhecida. Os adultos são fototrópicos positivos, sendo coletados com auxílio de armadilhas luminosas. A ocorrência dessas lagartas coincide com o período chuvoso, podendo ser encontradas em focos com *Dirphia rosacordis*, espécie também desfolhadora de teca (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Controle: Sem registros de controle.

Figura 5. Lagarta de *Miresa clarissa* em folha de teca.



Foto: Diego Arcanjo do Nascimento



Foto: Otávio Peres Filho

Figura 6. Casulos de *Miresa clarissa* em caule de teca.
Fonte: Peres-Filho et al. (2006, 2022).



Foto: Otávio Peres Filho

Figura 7. Adulto de *Miresa clarissa*.
Fonte: Peres-Filho et al. (2006, 2022).

Nome científico: *Dirphia rosacordis* Walker (Lepidoptera, Saturnidae).

Nome comum: Lagarta-queimadeira ou taturana.

Reconhecimento da praga e sintomas: As desfolhas produzidas pelas lagartas não causam preocupações, mas sim os danos causados aos operadores nas atividades silviculturais, devido à urticária produzida pelas cerdas das lagartas e dos casulos (Figuras 8 e 9). As desfolhas ocorrem no início do período chuvoso, as lagartas nos estágios iniciais são gregárias e raspam as folhas e, em estágios mais avançados, as cortam vorazmente, deixando apenas as nervuras das folhas. Entretanto, seus ataques se concentram em reboleiras e, somente em poucas ocasiões, podem causar problemas aos plantios de teca. Os adultos se assemelham às folhas secas, quando em repouso, emergindo no início do período das chuvas, época das desfolhas mais intensas. Os adultos machos e fêmeas são semelhantes, com envergadura de 22 mm e 107 mm, respectivamente. Apresentam coloração do corpo marrom avermelhada, com as asas anteriores com duas faixas finas pretas perpendiculares às nervuras, enquanto as asas posteriores apresentam forma de acículas de cor branca e uma faixa da mesma cor (Figura 10) (Peres-Filho et al., 2006).

Controle: Recomenda-se o uso de inseticida biológico à base de *B. thuringiensis* e de inseticidas piretroides, sendo que também não há produtos registrados para o seu controle em teca. As lagartas são parasitadas por vespa do gênero *Apanteles* (Hymenoptera, Braconidae) (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

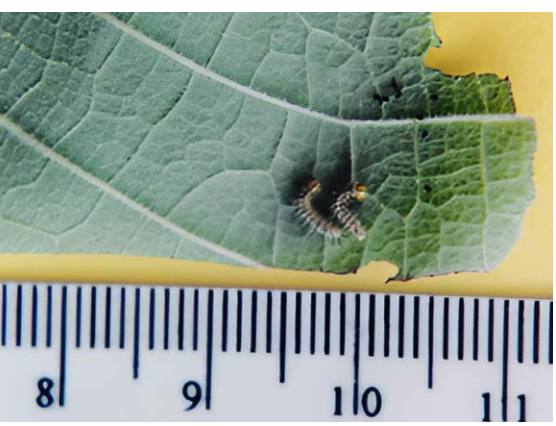


Figura 8. Lagartas de primeiro instar de *Dirphia rosacordis* em folha de teca.
Fontes: Peres-Filho et al. (2006, 2022).



Figura 9. Lagartas de *Dirphia rosacordis* em instares mais avançados, em folha de teca.
Fontes: Peres-Filho et al. (2006, 2022).

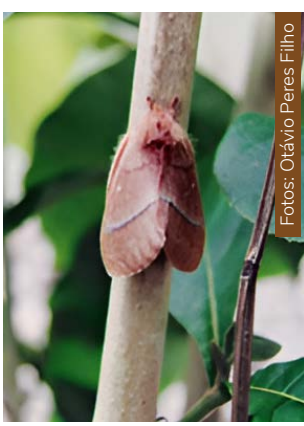


Figura 10. Adulto de *Dirphia rosacordis*.
Fontes: Peres-Filho et al. (2006, 2022).

Nome científico: *Gryllus assimilis* Fabr., 1775 (Orthopera, Gryllidae).

Nome comum: Grilo comum.

Reconhecimento da praga e sintomas: Possui hábitos noturnos, permanecendo no período diurno debaixo da serapilheira, de pedras, entre sacolas, enfim, em locais úmidos e escuros. A postura é feita no solo e o período embrionário é de duas semanas, a fase ninfal é de 45 dias, quando mantidos em dieta de coelho e a longevidade do adulto é de dois meses. Danificam as partes aéreas das plantas das mudas em canteiros de viveiros que utilizam esse método de produção de mudas (Peres-Filho et al., 2006).

Controle: Mudas em tubetes suspensos não são atacadas. Para outros tipos de viveiros, recomenda-se a utilização de iscas tóxicas à base de farelo de trigo, de açúcar, de água e de inseticida (triclorfon, carbaril e cartap) na forma de grânulos, espalhados pelos canteiros (Peres-Filho et al., 2006).

Nome científico: *Coptotermes testaceus* L., 1758 (Blattodea, Rhinotermitidae).

Nome comum: Cupim de cerne.

Reconhecimento da praga e sintomas: O cupim *C. testaceus* representa a espécie de maior risco à qualidade do cerne de florestas plantadas com teca. Os soldados desse cupim possuem cabeça com os lados arredondados, mandíbulas longas e finas, com poro frontal muito grande, olhos ausentes e antena com 15-18 artículos (Constantino, 1999). Os cupins dessa espécie penetram predominantemente nas plantas pelas raízes, a partir de dois anos de idade e constroem túneis ao longo do tronco da árvore (Constantino, 2002; Evans et al., 2019). No entanto, os casais desses cupins podem também penetrar na árvore, durante a revoada, por orifícios pré-existentes no tronco (Greaves, 1962), como cicatrizes de podas ou outros danos pré-existentes. As injúrias, promovidas por esses cupins, são caracterizadas pela formação de galerias ao longo do fuste, na região do cerne, porém, de maneira mais severa, próximo da base da planta (Figura 11A-B). Pode também haver indicativo de sua presença por galerias externas, formadas por solo e material cartonado, ao longo do tronco (Figura 11C), porém são mais comumente detectados durante a colheita ou quando a árvore danificada cai naturalmente (Moraes et al., 2002).

Controle: No Brasil, não há controle químico recomendado para *C. testaceus* em teca. Todavia, desde 2019, o ingrediente ativo fipronil foi aprovado como cupinicida para teca no Brasil (Brasil, 2021), mas estudos para o desenvolvimento de uma tecnologia de controle para essa espécie de inseto ainda precisam ser fomentados.

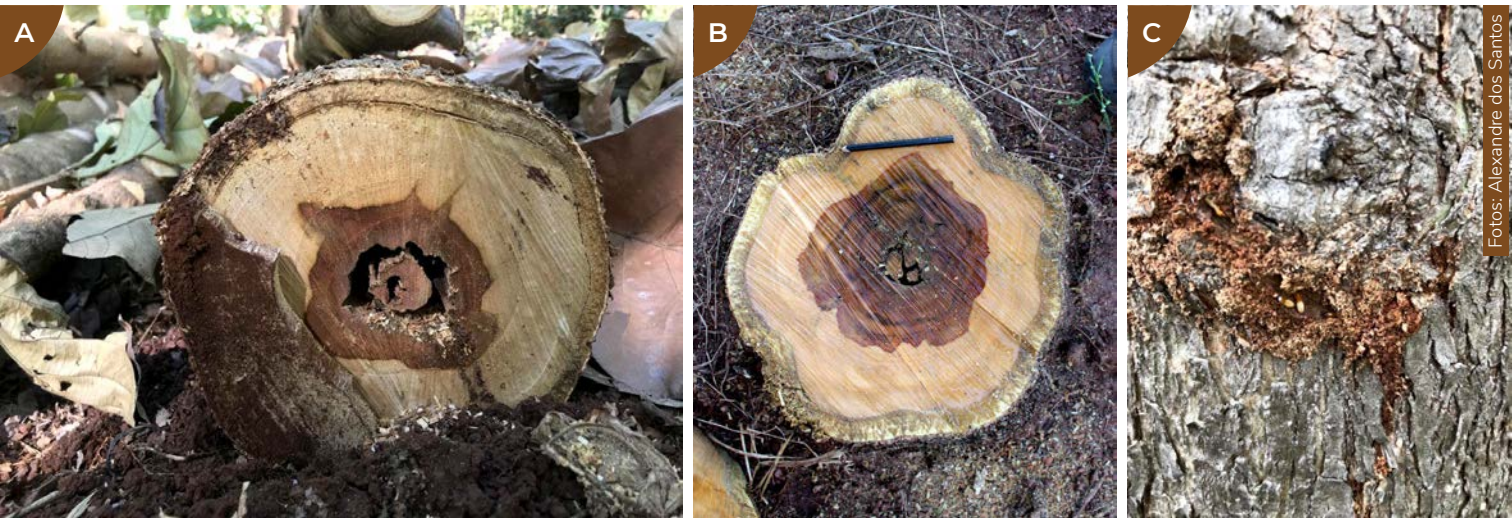


Figura 11. Danos causados pelo cupim de cerne *Coptotermes testaceus* (A e B) e galeria externa (C) em fuste de teca.

Nome científico: *Heterotermes longiceps* Snyder, 1924 e *Heterotermes tenuis* Hagen, 1858 (Blattodea, Rhinotermitidae).

Nome comum: Cupim subterrâneo.

Reconhecimento da praga e sintomas: Os soldados de *H. longiceps* têm a cabeça com largura entre 0,85-1,03 mm e antenas com 15-17 artículos, enquanto *H. tenuis* tem a cabeça coberta por uma densa camada de cerdas, mandíbulas marrom-escuras e possuem dois tipos de soldados (dimórficos) (Constantino, 2000). As injúrias observadas na cultura da teca são as formações de galerias sobre e logo abaixo da casca, na interface casca/alburno (Figura 12), desde o início da raiz até aproximadamente 1 m de altura. Um maior número de galerias é observado na região do coleto. Podem também ser produzidas galerias no centro do cerne e, em plantas novas, muito infestadas, foram observadas mortes das árvores causadas por anelamentos (Fialho-Júnior et al., 2019).

Controle: Não existem métodos de controle químico para *H. longiceps* ou *H. tenuis*, para a cultura da teca. Em plantios adultos de eucalipto, o fipronil é aplicado ao redor do tronco distribuído a lanço, sendo que a dose de 0,1 g de fipronil por planta pode proteger as mesmas do ataque dos cupins *H. tenuis*, por até um ano (Raetano et al., 1997). O atual registro do ingrediente ativo fipronil para a cultura da teca (Brasil, 2021), visando à proteção contra o ataque por esses cupins, precisa ser também estudado. A celulose presente na madeira é atraente para esse grupo de insetos e, quanto mais abundante, maior é a atratividade (Shanbhag; Sundararaj, 2013). Por isso, pode ser que a manutenção de grande quantidade de galhos e

de troncos em decomposição na área de plantio, que tem a lignina reduzida e hemicelulose e celulose aumentada, por deslignificação (Win et al., 2008), diminua a pressão por recurso alimentar e, consequentemente, a incidência de ataques desses cupins às árvores cultivadas.

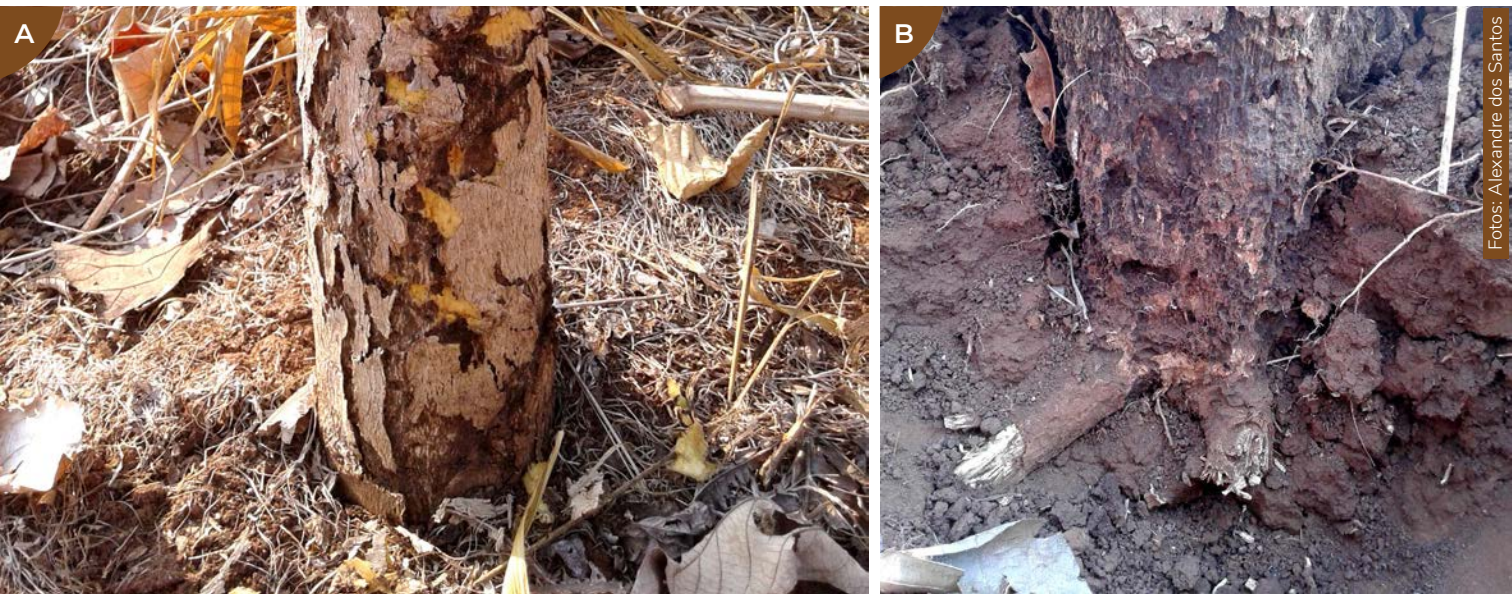


Figura 12. Danos causados pelo cupim de cerne *Heterotermes longiceps* (A e B) em fuste de teca.

Nome científico: *Cornitermes cumulans* Kollar, 1832 (Blattodea, Termitidae).

Nome comum: Cupim de montículo.

Reconhecimento da praga e sintomas: Os soldados dessa espécie de cupim têm a cabeça amarelada, com largura entre 1,85-2,62 mm, labro distintamente pontiagudo nos ângulos laterais, antenas com 15-16 artículos e conteúdo intestinal de coloração escura (Emerson, 1952). *C. cumulans* é uma espécie de cupim que produz ninhos em forma de montículo, comumente chamados de cupinzeiro, com altura entre 1-2 m, onde possui uma porção subterrânea e uma superficial, sendo essa a maior parte (Mariconi, 1976). Em plantios de teca, podem atacar desde as mudas recém-plantadas no campo até árvores mais desenvolvidas. Estes cupins podem atacar o sistema radicular de mudas a partir de 15 dias do plantio, sendo que a maior parte dos ataques ocorre nos quatro primeiros meses, após o plantio no campo (Nair; Vama, 1985; Berti Filho, 1993). Em plantios adultos, esses cupins podem realizar injúrias no fuste da teca, por se alimentarem e formarem galerias na interface casca/alburno (Silva et al., 2019) (Figura 13).

Controle: Os montículos de *C. cumulans* devem ser localizados e controlados entre 30-60 dias antes do preparo do solo ou no seu surgimento, no plantio já estabelecido. Porém, a ausência de montículos no campo não significa que as plantas estejam livres de ataque. Os montículos são estruturas que, às vezes, apesar de presentes no subsolo, afloram no solo apenas após alguns anos (Berti Filho, 1993). Em áreas infestadas por *C. cumulans*, pode-se fazer o controle químico preventivo com tratamento das plantas antes do plantio, que consiste na imersão das mudas em calda inseticida à base de fipronil (Brasil, 2021). Existem implementos perfuradores ou desestruturadores que, acoplados à tomada de força do trator, foram desenvolvidos para a destruição mecânica de cupinzeiros, sendo a eficiência desse tipo de controle muito alta (Valério et al., 1998). Porém, o controle químico com fipronil, na dose de 0,1 g por montículo, é o método mais utilizado (Brasil, 2021).

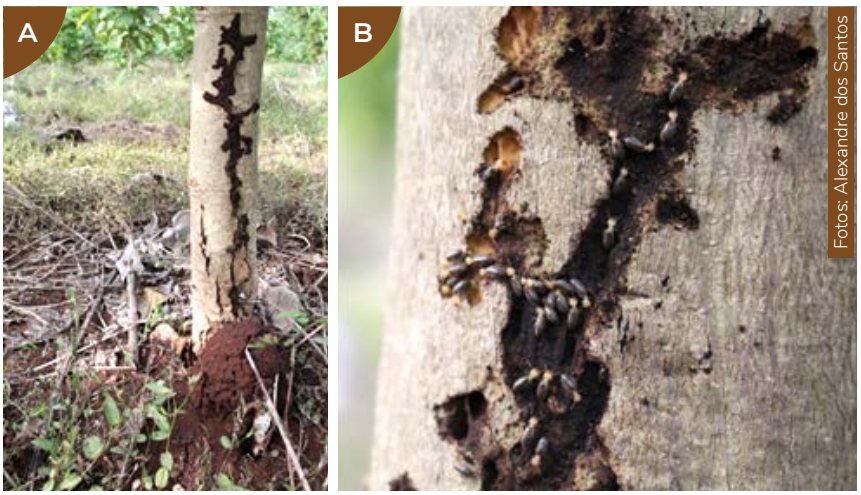


Figura 13. Danos de *Cornitermes cumulans* (A e B) em fuste de teca.

Nome científico: *Syntermes molestus* Burmeister, 1839 (Blattodea, Termitidae).

Nome comum: Cupim subterrâneo, cupim militar.

Reconhecimento da praga e sintomas: *S. molestus* possuem soldados de grandes dimensões, com cabeças sub-retangulares com larguras maiores que 2,9 mm, de coloração acastanhada e, ou avermelhada e laterais convergindo para a frente, com a presença de mandíbulas robustas (Figura 14A) (Constantino, 1995). A espécie *S. molestus* tem seu ninho localizado a 3 m de profundidade, sendo que pequenos e numerosos orifícios de forrageamento na superfície do solo são os únicos indícios de sua presença (Figura 14B) (Martius; Weller, 1998). Diferentemente da maioria de cupins, que exploram seu recurso alimentar de maneira críptica e, ou subterrânea, esta espécie forrageia pela superfície do solo, saindo ao final do dia e, ou durante o dia, quando nublado (Constantino, 1995; Wilcken et al., 2002). Esta espécie

de cupim possui o comportamento de danificar as raízes e o coleto de plantas logo após o plantio, causando grande mortalidade de mudas em plantios florestais (Berti Filho, 1993; Wilcken et al., 2002). Na teca, as mudas atacadas são facilmente retiradas do solo, pois o coleto é removido (Peres-Filho et al., 2006; 2022). Quando presente em grandes densidades na área de cultivo, esses cupins podem causar prejuízos econômicos, por tornar o replantio muito oneroso (Wilcken; Raetano, 1995).

Controle: Pode-se fazer o combate pelo tratamento preventivo das mudas antes do plantio, que consiste na sua imersão em calda inseticida à base do ingrediente ativo fipronil (Brasil, 2021). Deve-se imergi-las até o coleto, durante 20 segundos e deixar escorrer a calda por 2 minutos, após secagem realizar o plantio das mudas.

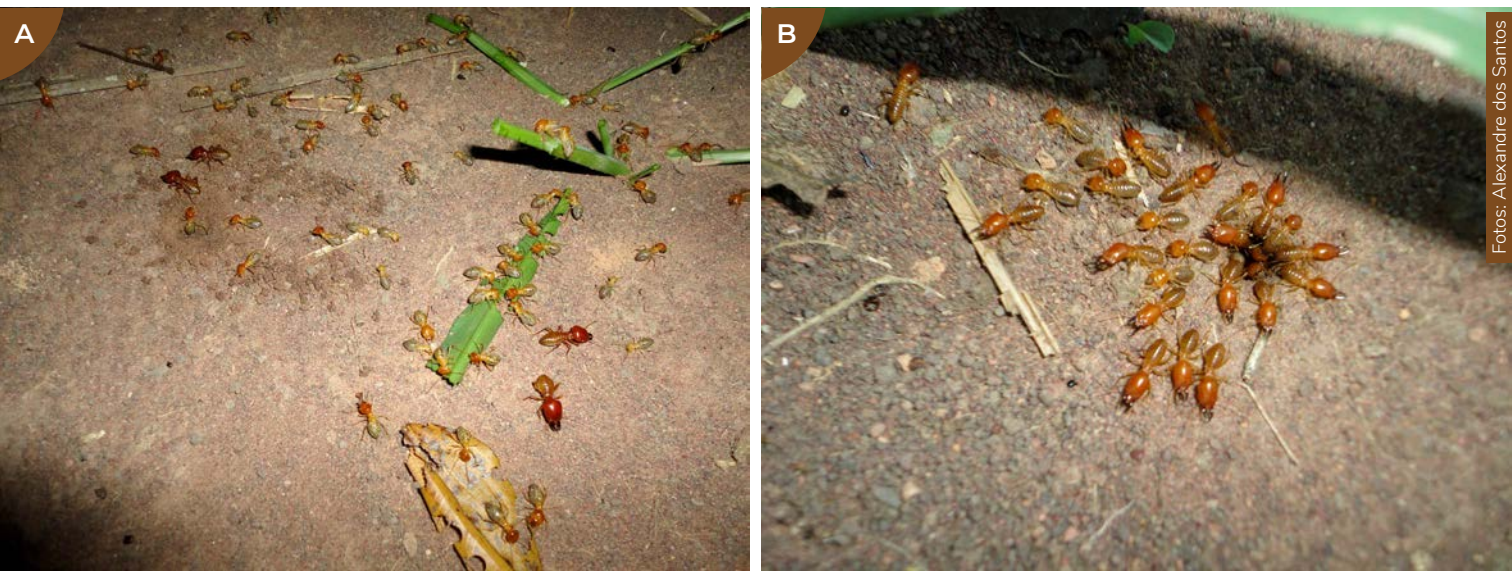


Figura 14. *Syntermes molestus*: forrageamento noturno (A) e orifício de saída de forrageamento do ninho subterrâneo (B).

Nome científico: *Euschistus heros* Fabricius, 1798 (Hemiptera, Pentatomidae).

Nome comum: Percevejo-marrom.

Reconhecimento da praga e sintomas: Possui coloração marrom escura, com uma meia-lua branca no final do escutelo e dois prolongamentos (espinhos) nas laterais do protórax. As ninfas, após eclosão da massa de ovos de coloração amarela, medem 1 mm (Panizzi et al., 2012). Nos ataques severos em plantios de teca, os insetos sugam as plantas e promovem a morte do broto apical (Figura 15A-B), que pode evoluir para uma seca total das plantas (Peres-Filho et al., 2006; 2022). Esses percevejos injetam uma enzima presente na sua saliva,

durante a alimentação, que causa a dissolução de proteínas presentes no interior das células vegetais, o que promove o secamento da planta (Depieri; Panizzi, 2011).

Controle: Utilização de predadores como *Podisus* sp. (Hemiptera, Pentatomidae), parasitoides de ovos, tais como: *Trissolcus basalis*, *Telenomus mormidae* (Hymenoptera, Scelionidae) e *Trichopoda nitens* (Diptera, Tachinidae). Para o controle químico desses predadores, não há produtos registrados para teca, embora existam para outras culturas.

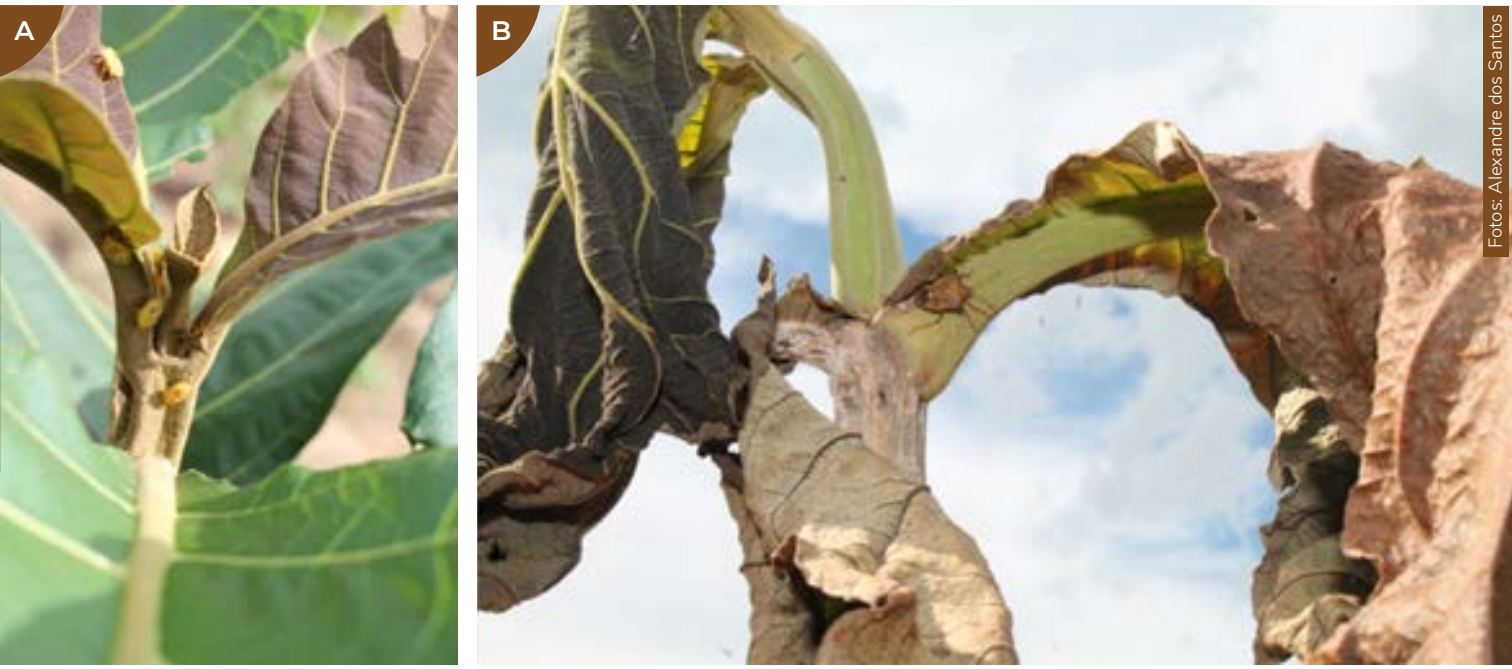


Figura 15. Danos de *Euschistus heros* (A e B) em teca.

Nome científico: *Nezara viridula* (L., 1758) (Hemiptera, Pentatomidae).

Nome comum: Percevejo-verde, fede-fede, maria-fedida.

Reconhecimento da praga e sintomas: Apresenta coloração verde uniforme e, às vezes, escura, parte ventral verde-clara e antenas vermelhas (Figura 16). Posturas são realizadas debaixo das folhas ou em locais abrigados do vegetal. Sugam a seiva das folhas novas e brotos, podendo levar ao secamento e morte dos ponteiros das mudas, retardando o crescimento e produzindo a formação de brotos laterais. Em ataques severos, podem levar as mudas à morte. As altas infestações estão relacionadas com áreas adjacentes de pastagens, de cultura de soja ou de outras culturas hospedeiras dessa praga (Gallo et al., 2002).

Controle: Utilização de predadores tal como *Podisus* sp. (Hemiptera, Pentatomidae), parasitoides de ovos tais como *Trissolcus basalis* e *Telenomus mormidae* (Hymenoptera,

Scelionidae), além de *Trichopoda nitens* (Diptera, Tachinidae). Não há produtos químicos registrados para o controle químico na cultura da teca. Todavia, existem registros de produtos para outras culturas (Gallo et al., 2002).



Figura 16. Casal de percevejo-verde, *Nezara viridula*, no broto apical de teca.

Nome científico: *Piezodorus guildinii* Westwood, 1837 (Hemiptera, Pentatomidae).

Nome comum: Percevejo-verde-pequeno-da-soja.

Reconhecimento da praga e sintomas: Coloração verde-clara, metade posterior do pronoto transparente com uma mancha escura em um fundo avermelhado. A postura é feita em duas fileiras e os ovos são pretos. Os danos são semelhantes aqueles causados por *N. viridula* (Gallo et al., 2002).

Controle: Utilização de predadores como *Podisus* sp. (Hemiptera, Pentatomidae), parasitoides de ovos tais como *Trissolcus basalis* e *Telenomus mormidae* (Hymenoptera, Scelionidae), além de *Trichopoda nitens* (Diptera, Tachinidae) (Gallo et al., 2002). O controle químico não é registrado para teca, embora exista para outras culturas (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Nome científico: *Edessa meditabunda* Fabr., 1794 (Hemiptera, Pentatomidae).

Nome comum: Percevejo-asa-preta-da-soja ou percevejo-fedorento.

Reconhecimento da praga e sintomas: Cabeça, pronoto e escutelo de coloração verde; asas pretas; região ventral do corpo, antenas e pernas de coloração marrom-amarelada (Figura 17). Danos semelhantes aqueles causados por *N. viridula* (Gallo et al., 2002).

Controle: Idêntico aquele descrito para *N. viridula*.



Figura 17. Adulto do percevejo-asa-preta-da-soja, *Edessa meditabunda*, sugando a seiva do pecíolo da folha de teca.

Nome científico: *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera, Pseudococcidae).

Nome comum: Cochonilha-rosada-do-hibisco.

Reconhecimento da praga e sintomas: Tem origem supostamente asiática e, atualmente, encontra-se espalhada por diversos continentes do mundo. É uma espécie altamente polífaga, sendo registrada em cerca de 330 espécies de plantas, incluindo árvores e arbustos de importância econômica (Williams, 1985; Williams; Willink, 1992; Kairo et al., 2000). O seu desenvolvimento é completado em cinco semanas e, nos locais frios, pode passar o inverno no estágio de ovos ou, em outros estágios, na planta ou no solo (Bartlett, 1978; Pollard, 1995). Danificam as plantas pela sucção de seiva e introdução de substâncias tóxicas (Francis-Ellis, 1995). Na teca, as colônias se instalam por todo o tronco, ramos e folhas, podendo formar aglomerações nos locais de cicatrizações na casca dos troncos. As deposições das fezes líquidas nas folhas favorecem a formação de fumagina (fungo saprofítico) e impedem a passagem de luz, reduzindo a capacidade de fotossíntese (Figura 18). Atacam a teca em todos os estágios de desenvolvimento, desde o viveiro até o campo.

Controle: O controle químico tem baixa eficiência para essa praga (Williams, 1996). No entanto, a pulverização com óleo mineral propiciou bons resultados em goiaba (*Guava* sp.). O controle biológico foi eficiente quando utilizados predadores como joaninhas *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera, Coccinellidae) (Mani; Krishnamoorthy, 2001). Todavia, os melhores resultados de controle biológico foram obtidos com os parasitoides: *Anagyrus kamali* Moursi e *Achrysopophagus* sp. (Hymenoptera, Encyrtidae) (Garland, 1998; Michaud; Evans, 2000). Resultados favoráveis foram obtidos também com fungos entomopatogênicos

como: *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vuill (Devi et al., 2008) e *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Driver and Milner) (Ahmed; Shahzad, 2007), bem como *Verticillium lecanii* (Datkhile et al., 2013). Bioinseticidas obtidos de extratos de plantas como *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile e *Quillaja saponaria* Molina afetam a biologia da cochonilha rosada (Patil et al., 2010).

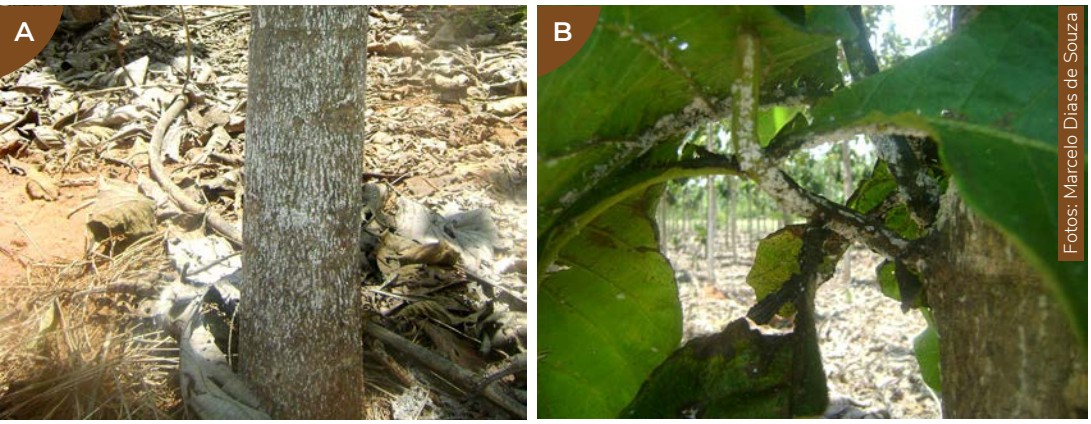


Figura 18. Colônias de cochonilha-rosada, *Maconellicoccus hirsutus,* no fuste (A) e nas folhas de teca com a presença de fumagina (B).

Nome científico: *Neoclytus pusillus* Laport & Gory, 1835 (Coleoptera, Cerambycidae).

Nome comum: Coleobroca ou besouro broqueador.

Reconhecimento da praga e sintomas: Os adultos medem aproximadamente 15 mm de comprimento, coloração parda escura com manchas amareladas, formando desenhos nos élitros e no tórax (Figura 19D) (Peres-Filho et al., 2006; 2022). As fêmeas colocam ovos, com forma elíptica e coloração branca, nas fendas, nas frestas ou sob a casca da árvore hospedeira. As larvas recém-eclodidas fazem galerias subcorticais e podem atingir 120 mm de comprimento e 5 mm de largura (Figura 19B). As pupas são de coloração branca (Figura 19C). O ciclo completo compreende 80-135 dias (Penteado-Dias, 1985). É uma espécie polífaga, atacando as toras de teca logo após o corte. Toretes, com 15 dias de estocagem, já podem apresentar inúmeras galerias subcorticais, com larvas de primeiro instar (Figura 19A). A madeira pode apresentar reinfestações, dependendo da umidade da madeira, diminuindo com o passar do tempo (Peres-Filho et al., 2006).

Controle: O controle preventivo é o mais recomendado, tal como a redução da permanência da madeira recém-cortada estocada no campo, sendo recomendado o período de estocagem nesse local inferior a 30 dias. O desdobro imediato das toras, com aplicação de produtos químicos ou a secagem forçada, poderá reduzir danos. A depender do nível de ataque e danos na madeira, estas devem ser eliminadas para evitar a proliferação da broca (Peres-Filho et al., 2006; 2022).



Figura 19. *Neoclytus pusillus* em tronco de teca: galerias subcorticais produzidas pelas larvas (corte transversal) (A), larva (B), pupa (C) e inseto adulto (D).
Fonte: Peres Filho et al. (2022).

Nome científico: *Sinoxylon unidentatum* Fabricius, 1801 (=*Sinoxylon conigerum* Gerstäcker, 1855) (Coleoptera, Bostrichidae).

Nome comum: Broca-da-teca, broca-conígera ou besouro-pulverizador-da-madeira.

Reconhecimento da praga e sintomas: O adulto apresenta coloração negra a castanho-avermelhado-escuro e corpo cilíndrico. Possui cabeça coberta pelo pronoto e invisível de cima. Esse inseto possui comprimento entre 3,5-5,5 mm. Possui declividade apical em cada asa anterior com um tubérculo no centro, ereto e cônico de coloração escura, base dos tubérculos granulosa (Figura 20D) (Binda; Joly, 1991). Não tem sua biologia estudada, porém é um inseto xilófago e, também, tem sido registrado em ramos de mangueira (*Mangifera indica* L.) e gonçaleiro (*Astronium fraxinifolium* Schott), em Cuiabá, MT e Várzea Grande, MT. Os danos são maiores em madeiras recém-cortadas em processo de secagem, os quais consistem em orifícios e galerias escavadas pelas larvas e, ou adultos, sempre na região do alburno, no sentido longitudinal do tronco (Figura 20C), causando

problemas para a exportação da madeira, por países que não tenham registros de sua ocorrência. Os ataques são característicos, além dos orifícios circulares (Figura 20A), podem apresentar serragem expelida das brocas (Figura 20B), devido à intensa ação larval. Os ataques de *S. unidentatum* podem inutilizar a madeira para as finalidades as quais se destinam (Peres-Filho et al., 2006; 2022).

Controle: O controle preventivo ou indireto é considerado o melhor método, uma vez que utiliza técnicas que podem impedir o ataque da broca na madeira, tais como: a) corte da madeira nas épocas de menor ocorrência da praga, ou seja, principalmente, em locais que apresentam estiagem em algum período do ano, visto que a ocorrência desse inseto diminui nesse período; b) permanência mínima da madeira estocada no campo ou em pátios de serrarias; c) secagem racional da madeira e, se possível, reduzir a umidade para níveis abaixo de 8% e d) tratamento da madeira com inseticidas via pressão e vácuo em autoclaves. Caso seja detectada a presença da broca no local ou madeira, é necessário estabelecer o controle curativo ou direto, utilizando-se o controle químico (Peres-Filho et al., 2015a).

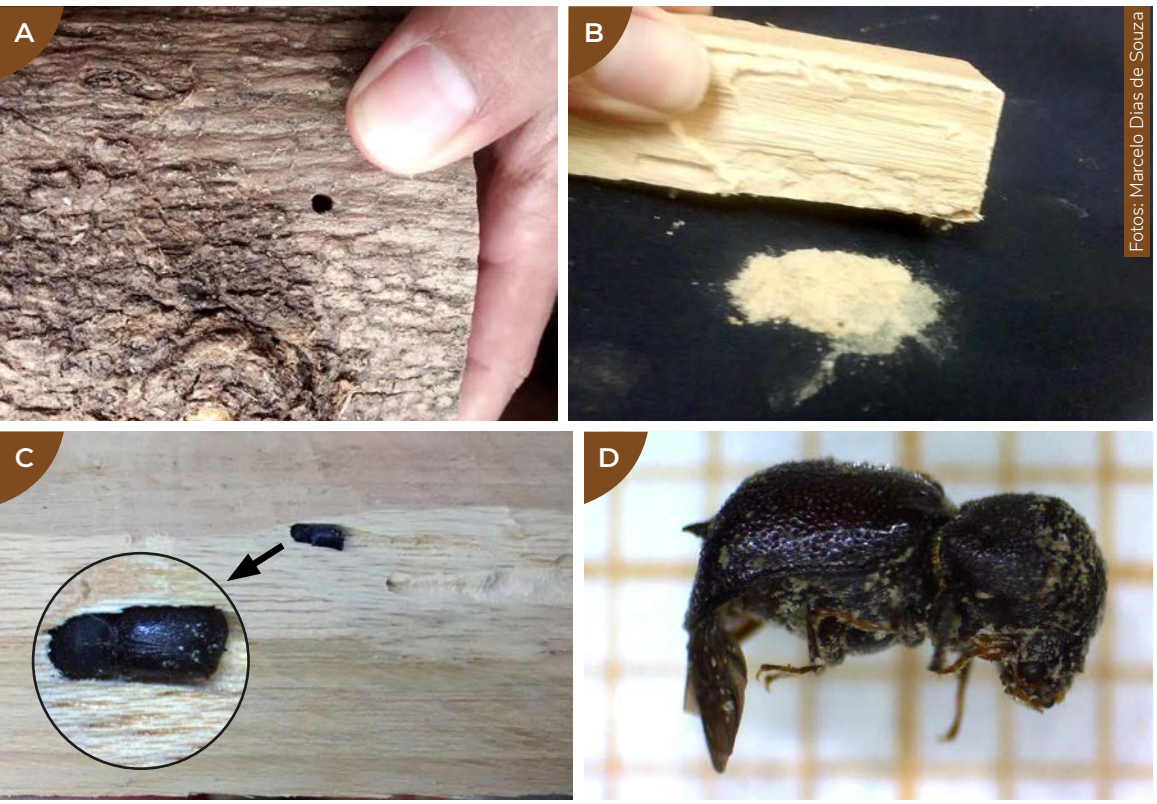


Figura 20. *Sinoxylon unidentatum* em tronco de teca: orifício circular (A), serragem expelida pela atividade larval (B), ataque no sentido longitudinal ao tronco (C) e inseto adulto (D).
Fonte: Peres Filho et al. (2022).

Nome científico: *Xyleborus ferrugineus* (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae).

Nome comum: Besouro-da-ambrosia.

Reconhecimento da praga e sintomas: O adulto é de cor marrom avermelhada e de tamanho variável, macho com 1,8 mm e fêmea com comprimento entre 2,4-3,1 mm. Na declividade, parte posterior dos élitros, estão situados um par de espinhos proeminentes. Pode apresentar duas ou mais gerações por ano, em regiões tropicais. Os ovos são de cor branca hialina e a fase larval com três instares. As fêmeas são responsáveis pela seleção, colonização e aberturas das galerias em árvores cortadas, derrubadas ou danificadas. Apresenta polifagia e, em teca, o ataque ocorre logo após a derrubada da árvore, podendo se disseminar pelos pátios de armazenamento. As galerias são ramificadas, como dendritos de um neurônio que se aprofundam na madeira e a escurece pela ação do fungo simbionte. Seus ataques foram relatados somente em toras com cascas armazenadas entre 30-150 dias (Peres-Filho et al., 2006).

Controle: Idêntico ao relatado para *Neoclytus pusillus*.

Nome científico: *Xyleborus affinis* (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae).

Nome comum: Besouro-da-ambrosia.

Reconhecimento da praga e sintomas: Possui biologia similar àquela de *X. ferrugineus*, porém, é menos agressivo quanto aos danos provocados, podendo atacar material lenhoso de tamanho pequeno. Traz sérios problemas pela abertura de galerias e por causar manchas na madeira. As galerias são semelhantes àquelas de *X. ferrugineus*, porém, sem péletes nas galerias e a extensão dos danos depende da umidade da tora, necessária ao desenvolvimento do fungo (Peres-Filho et al., 2006).

Controle: Idêntico aquele relatado para *Neoclytus pusillus*.

Considerações finais

Enfatizou-se no capítulo, em apreço, somente as pragas mais significativas da teca no estado de Mato Grosso e sul do estado do Pará. Apenas uma praga, espécie não identificada, e de ocorrência bem restrita, não foi mencionada.

Com a expansão das áreas plantadas com teca, evidentemente ocorrerão novas pragas, consequência da grande territorialidade do Brasil.

A respeito do controle químico das pragas citadas, poucas recomendações oficiais estão disponíveis, similarmente às outras espécies florestais. Consequentemente, outros métodos devem ser praticados e com rigoroso acompanhamento de técnico devidamente regulamentado pela legislação vigente do receituário agronômico.

Referências

AHMED, U. A.; SHAHZAD, S. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* strains on pink hibiscus mealy bug (*Maconellicoccus hirsutus*) affecting cotton crop. **Pakistan Journal Botanic**, v. 39, p. 967-973, 2007. DOI: https://doi.org/10.1017/S0269727000008939.

BARTLETT, B. R. Pseudococcidae. In: CLAUSEN, C. P. (ed.). **Introduced parasites and predators of Arthropod pests and weeds**: A world review. Washington: USDA, 1978, p. 137-170. (USDA. Agriculture handbook, 480).

BERNAYS, E. A.; CHAPMAN, R. F. **Host-plant selection by phytophagous insects**. New York: Chapman and Hall, 1994. 312 p.

BERTI FILHO, E. **Manual de pragas em florestas**: cupins ou térmitas. Piracicaba: IPEF/SIF. 1993. 56 p.

BINDA, F.; JOLY, L. J. Los Bostrichidae (Coleoptera) de Venezuela. **Boletín de Entomología Venezolana**, v. 6, n. 2, p. 83-133, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrofit**. 2021. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 25 mai. 2021.

CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 40, n. 25, p. 387-448, 1999.

CONSTANTINO, R. Key to the soldiers of South American *Heterotermes* with a new species from Brazil (Isoptera: Rhinotermitidae). **Insect Systematics and Evolution**, v. 31, n. 4, p. 463-472, 2000. DOI: https://doi.org/10.1163/1876312x-bja10018.

CONSTANTINO, R. Revision of the neotropical genus *Syntermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae). **The University of Kansas Science Bulletin**, v. 55, n. 13, p. 455-518, 1995.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution, and status. **Journal of Applied Entomology**, v. 126, n. 3-4, p. 355-365, 2002. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01378.x.

COUTINHO, S. A. Cultivo e mercado da teca. **Revista Opiniões**, v. 15, n. 49, p. 48-49, 2017. Disponível em: https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/18-cultivo-e-mercado-da-teca/. Acesso em: 12 ago. 2020.

DALY, H. V.; DOYEN, J. T.; EHRLICH, P. **Introduction to insect biology and diversity**. New York: McGraw-Hill Book CO, 1978. 564 p.

DATKHILE, R. V; CHAVAN, A. P.; SHINDE, V. B.; KOLI, H. R. Efficacy of different insecticides against grape mealy bug *Maconellicoccus hirsutus* (Green). **Journal of Agriculture Research and Technology**, v. 38, n. 3, p. 411-414, 2013. DOI: https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2021.25.556309.

DEPIERI, R. A.; PANIZZI, A. R. Duration of feeding and damage to soybean seed by stink bugs. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 2, p. 197-203, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S1519- 566X2002000100007.

DEVI, K. U.; PADMAVATHI, J.; RAO C. U. M.; KHAN, A. A. P.; MOHAN, M. C. A study of host specificity in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Hypocreales, Clavicipitaceae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 18, p. 975-989, 2008. DOI: https://doi.org/10.1080/09583150903474749.

EMERSON, A. E. The Neotropical genera *Procornitermes* and *Cornitermes* (Isoptera, Termitidae). **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 99, n. 8, p. 475-539, 1952. DOI: https://doi.org/10.1126/science.31.801.708.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios de perspectivas. Londrina, PR: Planta, 2006. 401 p.

EVANS, T. A.; FORSCHLER, B. T.; TRETTIN, C. C. Not just urban: the formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*, is invading forests in the Southeastern USA. **Biological Invasions**, v. 21, n. 3, p. 1283-1294, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_1.

FARACO, L. F. D.; GHISI, C. L.; MARINS, M.; OTA, S.; SCHÜHLI, G. S. Infestation of by the invasive moth *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, e19170516, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000500001.

FERNANDES, D. A.; AZEVEDO, L. P.; COSTA, R. B. Efeito de diferentes concentrações de nitrogênio e de sacarose na propagação in vitro de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista de Agricultura**, v. 86, n. 3, p. 222-229, 2013. DOI: https://doi.org/10.37856/bja.v86i3.6.

FIALHO-JUNIOR, L. L.; NASCIMENTO, D. A.; SANTOS, I. C. L., PERES-FILHO, O., SANTOS, A. First report of *Heterotermes longiceps* (Blattodea: Rhinotermitidae) termite in teak plantations. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, e20180360, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.036018.

FRANCIS-ELLIS, D. **Paper on background and status of mealybug *Maconellicoccus hirsutus* in Grenada**. Grenada: Ministry of Agriculture, 1995. 7 p.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GARLAND, J. A. **Pest risk assessment of the pink mealybug *Maconellicoccus hirsutus* (Green), with particular reference to Canadian greenhouses**. Ottawa: Canadian Food Inspection Agency, 1998. 39 p.

GREAVES, T. Studies of foraging galleries and the invasion of living trees by *Coptotermes acinaciformis* and *C. brunneus* (Isoptera). **Australian Journal of Zoology**, v. 10, n. 4, p. 630-651, 1962. DOI: https://doi.org/10.1080/00323269108402135.

KAIRO, M. T. K.; POLLARD, G. V.; PETERKIN, D. D.; LOPEZ, V. F. Biological control of the hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae) in the Caribbean. **Integrated Pest Management Reviews**, v. 5, p. 241-254, 2000. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1012997619132.

MANI, M.; KRISHNAMOORTHY, A. Suppression of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) on Guava. **Insect Environment**, v. 6, n. 4, p. 152, 2001. DOI: https://doi.org/10.1002/fee.2160.

MARICONI, F. A. M. **Inseticidas e seu emprego no combate às pragas**. São Paulo, SP: Livraria Nobel, 1976. 466 p.

MARTIUS, C.; WELLER, M. Observations on dynamics of foraging hole construction of two leaf-feeding, soil-inhabiting *Syntermes species* (Isoptera: Termitidae) in an Amazonian rain forest, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 3, p. 325-330, 1998. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200001.

MICHAUD, J. P.; EVANS, G.A. Current status of pink hibiscus mealybug in Puerto Rico including a key to parasitoid species. **Florida Entomologist**, v. 83, n. 2, p. 97-101, 2000. DOI: https://doi.org/10.1653/024.100.0101.

MILLER, J. R.; MILLER, T. A. **Insect plant interactions**. New York: Springer-Verlog, 1986. 342 p.

MORAES, J. C.; ZANETTI, R.; AMARAL CASTRO, N. L.; ZANUNCIO, J. C.; ANDRADE, H. B. Effect of *Eucalyptus* species and soil type on infestation levels of heartwood termites (Insecta: Isoptera) in reforested areas of Brazil. **Sociobiology**, v. 39, n. 1, p. 145-153, 2002. DOI: https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i4.1839.

MOURA, R. G. **Diversidade de himenópteros parasitoides (Hymenoptera: Chalcididae) e coleobrocas (Coleoptera: Cerambycidae) associados à cultura de *Tectona grandis* Linn. f. (Lamiaceae)**. 2012. 70 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MOYA. R.; BOND. B.; QUESADA-PINEDA. H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science Technology**, v. 48, p. 411-433, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00226-014-0618-3.

NAIR, K. S. S. Important insect pest problems of forest plantations in tropical India. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 18., 1986, Ljubljana. **Proceedings** [...]. Ljubljana: IUFRO. v. 1, p. 134-145, 1986.

NAIR, K. S. S.; VARMA, R. V. Some ecological aspects of the termite problem in young eucalypts plantations in Kerala, India. **Forest Ecology and Management**, v. 12, n. 3, p. 287-303, 1985. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119047.

ORTIZ, A. G; PERES-FILHO, O.; SANTOS, A.; SOUZA, M. D.; FAVARE, L. G.; NASCIMENTO, D. A. Resposta do forrageamento de *Acromyrmex rugosus* (Smith, 1858) e *Acromyrmex balzani* (Emery, 1890) (Hymenoptera: Formicidae) a mudas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com diferentes restrições nutricionais. **Revista Espacios**, v. 38, n. 44, p. 1-10, 2017. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a17v38n44/a17v38n44p01.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

PANIZZI, A. R.; BUENO, A. F.; SILVA, F. A. C. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (ed.). **Soja**: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 335-420. Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br/artropodes/Capitulo5.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. **Bioecologia e nutrição de insetos**: base para o manejo integrado de pragas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Londrina: Embrapa Soja, 2009. p. 1107-1139.

PARRA, J. R. P. Consumo e utilização de alimentos por insetos. In: PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. (ed.). **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo, SP: Manole, 1991. p. 9-66.

PARRA, J. R. P. **Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico**. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 2001. 134 p.

PATIL, S. V.; SALUNKE, B. K.; PATIL, C. D.; SALUNKHE, R. B.; GAVIT, P.; MAHESHWARI, V. L. Potential of extracts of the tropical plant *Balanites aegyptiaca* (L) Del. (Balanitaceae) to control the mealy bug, *Maconellicoccus hirsutus* (Homoptera: Pseudococcidae). **Crop Protection**, v. 29, n. 11, p. 1293-1296, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.016.

PENTEADO-DIAS, M. A. Biologia e estágios imaturos de *Neoclytus curvatus* (Germar) (Coleoptera, Cerambycidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 2, n. 6, p. 347-349, 1985. DOI: https://doi.org/10.1590/S0101-81751984000200005.

PERES-FILHO, O.; DORVAL, A.; BERTI FILHO, E. **A entomofauna associada à teca, *Tectona grandis* L. f. no estado de Mato Grosso**. Piracicaba: IPEF, 2006. 58 p.

PERES-FILHO, O.; DORVAL, A.; SILVA JÚNIOR, J. G. da; FAVARE. L. G. de; SOUZA, M. D. de. Manejo de pragas. In: TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. (ed.). **Teca**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2022. p. 171-192.

PERES-FILHO, O.; TEIXEIRA, E. P.; MOURA, R. G. Broca da teca, *Sinoxylon unidentatum* (Fabricius). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (ed.). **Pragas introduzidas no Brasil**: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ, 2015a. p. 802-809.

PERES-FILHO, O.; TEIXEIRA, E. P.; MOURA, R. G. Lagarta-da-teca, *Hyblaea puera* (Cramer) In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (ed.). **Pragas introduzidas no Brasil**: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ, 2015b. p. 828-836.

POLLARD, G. V. Pink or hibiscus mealybug in the Caribbean. **Caraphin News**, v. 12, p.1-2, 1995.

RAETANO, C.; WILCKEN, C.; CROCOMO, W. Controle de cupins em florestas de eucalipto com o inseticida fipronil (Regent 20 G) aplicado em cobertura. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 289-293, 1997. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000100007.

SHANBHAG, R.; SUNDARARAJ, R. Physical and chemical properties of some imported woods and their degradation by termites. **Journal of Insect Science**, v. 13, n. 63, p. 1-8, 2013. DOI: https://doi.org/10.1673/031.013.6301.

SILVA, K. L.; LADEIA, S. C.; NUNES, W. M.; SANTOS, I. C. L.; SANTOS, A. Occurrence of *Tectona grandis* stem injury caused by *Cornitermes cumulans* termite. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. e20180356, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.035618.

VALÉRIO, J. R.; SANTOS, A. V.; SOUZA, A. P.; MACIEL, C. A. M.; OLIVEIRA, M. C. M. Controle químico e mecânico de cupins de montículo (Isoptera: Termitidae) em pastagens. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, n. 1, p. 125-131, 1998. DOI: https://doi.org/10.1590/S0301-80591998000100016.

VILLEE, C. A.; WALKER, J. R. W.F.; BARNES, R. D. **Zoologia geral**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Guanabara, 1988. 683 p.

VITORINO, M. D.; DUTRA, R. N.; ARENHARDT, T. C. P.; BEAL, L. C.; GONÇALVES, A. H. M.; MARQUARDT, R. T.; COSTA, P.A; CRISTO, C. D. Avaliação do uso de imidacloprid no controle de *Acromyrmex* spp. (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 41-48, 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v45i1.31912.

WILCKEN, C. F.; RAETANO, C. G. Controle de cupins em florestas. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, L. R. (ed.). **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 141-154.

WILCKEN, C. F.; RAETANO, C. G.; FORTI, L. C. Termite pests in eucalyptus forests in Brazil. **Sociobiology**, v. 40, n. 1, p. 179-190, 2002. DOI: https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i4.1839.

WILLIAMS, D.J. A brief account of the hibiscus mealybug *Maconellicoccus hirsutus*, a pest of agriculture and horticulture, with descriptions of two related. **Bulletin of Entomological Research**, v. 86, n. 5, p. 617-628, 1996.

WILLIAMS, D. J. **Australian mealybug**. London: Bristish Museum (Natural History), 1985. 53 p.

WILLIAMS, D. J.; WILLINK, M. C. G. de. **Mealybugs of Central and South America**. London: CAB International, 1992. 635 p.

WIN, E.; TAKEMOTO, S.; HWANG, W.; TAKEUCHI, M.; ITOH, T.; IMAMURA, Y. Anatomical characterization of decayed wood in standing light red meranti and identification of the fungi isolated from the decayed area. **Journal of Wood Science**, v. 54, p. 233-241, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-008-0947-7.

ZANETTI, R. **Manejo integrado de formigas cortadeiras e cupins em áreas de eucalipto da Cenibra**. Belo Oriente: Cenibra, 2007. 74 p.



14

Crescimento e produção de teca: quantificação e influências

Ronaldo Drescher
Reginaldo Antonio Medeiros
Arthur Guilherme Schirmbeck Chaves
Rubens Marques Rondon Neto
Diogo Guido Streck Vendruscolo

Introdução

As primeiras tentativas de cultivar a teca (*Tectona grandis* Linn f.), de forma extensiva, começaram em 1865, conforme relatou George (1961). Ele destacou como maior sucesso a experiência em Vembooram, uma pequena ilha no rio Periyar, Índia.

No Brasil, segundo Sampaio (1930), a espécie foi plantada pela primeira vez em 1930, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro e no Horto Florestal de Rio Claro, SP, sendo as duas experiências consideradas promissoras e com boas perspectivas para o País. Em artigo publicado em março daquele ano, na Revista Florestal, intitulado "A teca da Índia e a do Brasil", o professor de Botânica do Museu Nacional citava, ainda, a "angélica do Pará" (*Dicorynia paraensis* Benth) como a substituta brasileira para a espécie indiana e se posicionava a favor da teca como cultura no Brasil, indicando plantios de ambas as espécies para confronto e análise.

No entanto, o primeiro experimento registrado com teca no País data de 4 de fevereiro de 1959 e foi realizado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), em Piracicaba, SP. Na experiência, executada pelo professor de silvicultura, Helladio do Amaral Mello, foram utilizadas sementes de teca vindas de árvores existentes na Usina Tamoio, em Araraquara, SP. No total, foram plantadas 552 mudas, com altura média de 30 cm, em 17 linhas (Mello, 1963). Nas últimas décadas, a teca se popularizou no Brasil e, atualmente, existem inúmeros plantios, com variadas idades e em diversos locais. Dentre eles, são citados: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Pará, Acre, São Paulo, Paraná, Amapá e Pernambuco, como os Estados brasileiros que se destacam no cultivo da espécie.

Em Mato Grosso, a teca foi introduzida pelo engenheiro agrônomo Luis Veit, em 1967, em um experimento que tinha por objetivo definir uma espécie produtora de madeira nobre adequada ao florestamento da região de Cáceres, MT. Foram testadas, nessa pesquisa, as espécies nativas: mogno (*Swietenia macrophylla* King), cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo) e cerejeira; e as exóticas: teca, cadam (*Anthocephalus cadamba* Roxb.) e cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*). Entre as espécies testadas, segundo Veit (1993), a teca foi a que se sobressaiu pelo vigor, rusticidade e excelente forma de fuste. Já Matricardi (1988) defende que a teca foi plantada, pela primeira vez, em povoamento no Mato Grosso, pela Madeireira Cáceres Florestal S.A., em 1971, no sítio Castiçal do Jauru, no município de Cáceres, MT.

Neste Estado são comuns plantios de reflorestamentos com espécies para serraria e laminados, tais como mogno-africano (*Khaya* spp.), pinho-cuiabano ou paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e teca, além de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) para fins energéticos. Além da capacidade agrícola agora instalada, historicamente, o estado de Mato Grosso sempre foi alvo do extrativismo, tendo a madeira como principal produto, o que torna evidente a sua vocação florestal. Porém, como a maioria dos plantios de teca estão no primeiro ciclo, ainda há pouca preocupação quanto ao acompanhamento, ao controle do crescimento e da produção dessa essência florestal.

A possibilidade de execução de rotações curtas permite a discussão sobre a importância de se processar madeira de pequena dimensão. Para tanto, é preciso tecnologia apropriada para assegurar uma produção que satisfaça os padrões mínimos de qualidade exigidos pelo mercado. Com a inexistência de equações e de tabelas de produção da teca para a região Centro-Oeste e Amazônia Legal, as quais possibilitem determinações rápidas dos estoques de madeira para diferentes tipos de aproveitamentos, há a necessidade de se estudar a estruturação da produção e os sortimentos para essa espécie. Tais práticas são indispensáveis na avaliação do estoque dos sortimentos de madeira, visando ao abastecimento industrial, bem como à avaliação e à otimização da produção, no intuito de definir o período de rotação.

Deve-se salientar que a teca, assim como outras espécies florestais, é responsável por aliviar a pressão sobre as florestas nativas que ainda resistem às investidas meramente exploratórias. Entretanto, é crescente o número de madeireiros responsáveis e visionários que seguem a trilha aberta por Luis Flávio Veit, em Cáceres, MT e investem na teca como cultura florestal em sistemas de mosaico. Esse sistema, certamente, é a maior vantagem desse mito madeireiro que a cada ano alcança mais espaço no cenário econômico de Mato Grosso, do Brasil e do mundo. De certa forma, os plantios são jovens, com raríssimas exceções, possuindo não mais que 30 anos de idade.

No entanto, mesmo possibilitando perspectivas de “segurança e elevada rentabilidade”, como asseguram alguns investidores, cabe salientar que o lucro advindo de plantios de teca só será garantido se eles tiverem os cuidados de manejo necessários ao desenvolvimento dessa espécie. Não basta apenas plantar a teca e esperar que o “ouro verde” cresça e possa ser cortado. É necessário o planejamento da utilização dessa espécie florestal, que só será eficiente e terá êxito se for fundamentado em dados coletados, manipulados e analisados dentro de padrões técnicos que possam garantir uma decisão adequada e racional.

Nesta linha de raciocínio, este capítulo trata do crescimento e da produção de teca e reúne os resultados de anos de pesquisas e aprendizados dos autores sobre a espécie, principalmente no estado de Mato Grosso, local de trabalho dos pesquisadores. Inicialmente, são apresentados os métodos de medição e de amostragem para obtenção de dados, no estudo de crescimento da teca. A seguir, discute-se sobre o crescimento dos povoamentos, a capacidade produtiva local e o manejo de teca. O capítulo é finalizado com a produção e a prognose da produção de teca.

Técnicas de medição e amostragem para obtenção de dados no estudo do crescimento e da produção de teca

Avaliar povoamentos florestais para uma idade presente é um desafio para os engenheiros florestais (Figura 1), sendo comum receberem perguntas dos produtores, tais como: quantos m^3 de madeira têm em cada talhão da minha fazenda? Quantas toras rende um fuste de uma árvore? Quantas dessas toras têm uma circunferência maior que 130 cm? Quanto vale a minha floresta? Essas perguntas se tornam ainda mais desafiadoras quando o produtor também resolve perguntar algo com relação ao tempo futuro: quantas toras de madeira acima de 40 cm de diâmetro serão obtidas daqui a sete anos?



Figura 1. Floresta clonal de teca, no município de Cáceres, Mato Grosso.

Estas perguntas podem surgir e as respostas são importantes para o produtor de teca, porque ele está preocupado com o seu negócio. No entanto, as respostas para estas perguntas exigem muita destreza e muito conhecimento por parte do engenheiro florestal; e possuem um custo que inclui a coleta dos dados, a experiência e o conhecimento do engenheiro florestal para estimar estas informações com erros mínimos.

A primeira coisa que o engenheiro florestal deve deixar claro para o produtor é a importância de se realizar anualmente as atividades de inventário florestal, porque estes dados serão úteis e imprescindíveis para gerar informações capazes de responder aos questionamentos apresentados.

Inventários florestais

Segundo Pellico Netto e Brena (1997), o inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área específica. Os dados a serem coletados deverão possibilitar a construção de informações satisfatórias e confiáveis. Uma informação é satisfatória quando atende ao objetivo que se pretende; por exemplo, conhecer a quantidade de madeira disponível para ser colhida em um povoamento, em determinado momento. E uma informação é confiável quando corresponde à realidade ou está próxima desta realidade, ou seja, aquilo que está sendo estimado no inventário florestal estará próximo daquilo que existe de fato no campo.

A coleta de dados também possui um orçamento limitado e, por isso, tem um limite quanto ao grau de satisfação e confiabilidade a ser alcançado. A amostragem se faz necessária porque não é satisfatório, e nem viável, medir-se toda a floresta; contudo, se a amostragem for corretamente conduzida, será possível atingir boa precisão e acurácia e, consequentemente, obter-se informações confiáveis.

Um inventário florestal pode acontecer uma única vez (Inventário Florestal Temporário - IFT) ou pode acontecer múltiplas vezes seguidas (Inventário Florestal Contínuo - IFC), dependendo dos objetivos almejados. Para levantamentos de expectativa de colheita, ou para venda de madeira, podem ser realizados os inventários do tipo pré-corte (IPC), que geralmente são do tipo IFT. Estes podem ser mais exigentes quanto ao grau de satisfação e de confiabilidade e, consequentemente, mais caros, porque demandam uma intensidade amostral maior.

Para estudos de crescimento e de produção é altamente recomendável o emprego do IFC com parcelas de área fixa, além da remedição de todas as variáveis de interesse em cada ano.

É também possível, para algumas espécies como a teca, recuperar informações históricas por meio de estudos de dendrocronologia dos troncos (Análise de Tronco - ANATRO) (Figura 2).



Figura 2. Etapas do processo de Análise de Tronco Total: derrubada da árvore e cubagem (A), seccionamento das fatias ao longo do tronco (B), marcação das fatias (C), identificação das fatias (D e E) e armazenamento das fatias para transporte (F) as quais serão usadas na elaboração do gráfico de incremento médio anual de uma árvore de teca.

Métodos e processos de amostragem

As técnicas empregadas nos inventários se dividem em métodos e em processos de amostragem. O método se refere à estratégia adotada para instalar e medir uma unidade amostral (UA), por exemplo: método da área fixa com parcelas retangulares. Isto significa que todas as parcelas terão as mesmas dimensões e formatos e que as variáveis a serem coletadas serão obtidas da mesma maneira em cada uma das amostras. Por outro lado, o processo de amostragem se refere à maneira como serão distribuídas as parcelas na floresta, por exemplo: processo de amostragem com distribuição sistemática das amostras (amostragem sistemática - AS).

O processo de AS é a estratégia mais adotada e recomendada para teca, pela maior capacidade de contemplar a variância espacial da floresta, incluindo os fatores que determinam esta mudança. Alguns dos fatores edáficos (físicos e químicos) tendem a apresentar dependência espacial e a influenciar a resposta de crescimento das árvores na floresta.

Para povoamentos de teca, é comum o emprego de parcelas retangulares, ou circulares, de tamanhos variados (600-2.000 m^2), dependendo da densidade de árvores do povoamento. Contudo, parcelas circulares de grandes dimensões tendem a ser operacionalmente inviáveis e, por isso, há preferência por parcelas retangulares. O tamanho das parcelas aumenta na medida em que ocorrem os desbastes porque é demandado aumento da área das parcelas para contemplar uma quantidade representativa de indivíduos arbóreos. Recomenda-se amostrar em torno de 50 indivíduos arbóreos em cada parcela, para se obter uma representação amostral significativa da variância dos diâmetros e, assim, representar adequadamente a distribuição diamétrica da parcela.

Variáveis quantitativas

Diâmetros e alturas

Em cada unidade amostral geralmente são medidos 100% dos diâmetros à altura do peito (DAPs) ou circunferências à altura do peito (CAPs) das árvores, seguindo o sentido das linhas de plantio (Figura 3). Em aproximadamente dez árvores (20%, considerando 50 indivíduos), são também tomadas as alturas (total e comercial) dos indivíduos arbóreos, de maneira sistemática (fileiras centrais).

Adicionalmente, recomenda-se também determinar, demarcar e medir as árvores dominantes da parcela (mesmas árvores dominantes ao longo dos anos).

As alturas totais do restante das árvores da parcela serão estimadas por equações hipsométricas, ajustadas com base na relação existente entre o DAP e as alturas das árvores nas parcelas. A relação hipsométrica deve ser ajustada para cada idade e, se possível, por parcelas.



Figura 3. Medição de circunferência à altura do peito em parcelas permanentes de povoamentos de teca.

Volume e forma do fuste por medição direta

O volume individual das árvores (Equação 1) também deve ser amostrado conforme disposição espacial das UAs. Recomenda-se selecionar as árvores com base na distribuição diamétrica dos indivíduos nas parcelas, talhões ou até por fazenda. A quantidade mínima de árvores a serem cortadas e cubadas vai depender da variância dos volumes, além da quantidade de talhões ou de projetos (fazendas) envolvidos. De maneira geral, recomenda-se realizar a cubagem de, pelo menos, três a cinco indivíduos por parcela, empregando-se os métodos de cubagens absolutos (exemplo Equação de Smalian - 2) com seções de comprimento entre 1-2 m. Para inventários de pequenas propriedades, que se tenham poucas UAs (20 ou menos), essa quantidade de três árvores por parcela se torna irrelevante. Assim, deve-se empregar o cálculo de intensidade amostral requerida para a variância dos volumes (Equação 3) e distribuir as amostras para todo o projeto/fazenda.

$$vi = v_{toco} + \sum v_{seções} + v_{copa} \qquad 1$$

$$v_{seção\ smalian} = \frac{g_{base} + g_{ponta}}{2} * L \qquad 2$$

$$n = \frac{t^2 * S_x^2}{(LE * \bar{X})^2} \qquad 3$$

Em que: v_i = volume total individual (m^3); v_{toco} = volume do toco (m^3); $v_{seções}$ = volume da seção (m^3); v_{copa} = volume da copa (m^3); $v_{seção\ smalian}$ = volume da seção por Smalian (m^3); g_{base} = área seccional da base (m^2); g_{ponta} = área seccional da ponta (m^2); L = comprimento da seção (m); *t* = valor de t de Student; S_x^2 = variância dos volumes; *LE*= limite de erro admitido e $\bar{X}$=média dos volumes.

Apesar da teca possuir altura comercial bem definida com múltiplas bifurcações, recomenda-se seguir a cubagem pelo fuste principal até um diâmetro mínimo entre 5-10 cm para garantir consistência e bons ajustes dos modelos de afilamento. A altura comercial geralmente apresenta comportamento inteiramente aleatório e baixa correlação com outras variáveis dendrométricas, especialmente, em povoamentos de teca que receberam desbastes.

Os volumes totais do restante das árvores da parcela serão estimados por equações volumétricas, ajustadas com base na relação existente entre os volumes, os DAPs e as alturas totais das árvores amostradas nos talhões ou na fazenda. Os dados de cubagem coletados em uma certa idade poderão ser empregados novamente por um horizonte entre 3-5 anos; desde que o banco de dados empregado para ajuste da equação contemple toda a variação diamétrica das árvores no ano que se pretende estimar. Quando a taxa de crescimento é elevada, a forma do fuste pode ser alterada mais rapidamente e, por isso, essa cubagem deverá ser novamente realizada.

Volume e forma do fuste por medição indireta

Para povoamentos mais próximos do corte final, recomenda-se empregar a cubagem indireta para não desperdiçar os fustes de alto valor comercial. A cubagem indireta emprega aparelhos conhecidos como relascópios digitais, sendo estes aparelhos capazes de medir diâmetros do fuste para diferentes alturas, sem abater as árvores, ou seja, com as árvores em pé.

São necessárias duas medidas transversais, assim como se faz na cubagem direta com a suta, o que acarreta queda na produtividade de árvores medidas por dia de trabalho. Além disso, recomenda-se realizar esta operação durante a época da seca, para se obter melhor visualização dos pontos de medições no fuste. Como a teca é uma planta caducifólia, durante esse período os galhos e as folhas não impedem a visualização dos fustes a serem medidos.

Variáveis qualitativas

As variáveis qualitativas mais comumente medidas são o estado fitossanitário (EF) e a qualidade do fuste (QF). Estas características são diversas e cada empresa ou prestador de serviço pode determinar aquilo que será avaliado.

Em geral, cada árvore recebe uma sigla que represente o seu estado fitossanitário, tais como: normal (N), falha/toco (F), morta (M), quebrada (Q), seca (S), doente (D), dentre outras. Na avaliação da qualidade de fuste é geralmente adotada uma escala ordinal qualitativa que varia de 1 a 5, sendo: 1) fuste reto sem galhos, 2) fuste reto com galhos, 3) fuste torto sem galhos, 4) fuste torto com galhos e 5) árvore marginal bifurcada ou quebrada.

Medidas adotadas pelo mercado da teca

A madeira de teca é, em sua maior parte, negociada em volume de toras com descontos, sendo mais comum a negociação de acordo com a medida britânica conhecida como Hoppus (Equação 4 e Figura 4). Esta medida foi introduzida na Índia pela colonização britânica e ainda é adotada nas negociações comerciais de madeira de teca em Mato Grosso, especialmente com a Índia. Atualmente, nas negociações de madeira do Brasil com o mercado internacional, é adotado o sistema métrico como unidade de medida, sendo então os valores calculados em m^3 de Hoppus (H m^3).

$$Hoppus = \left(\frac{C - d}{4}\right)^2 * L \qquad 4$$

Em que: *Hoppus*: volume (H m^3); C: circunferência ao meio da tora (m); *d*: desconto na circunferência (m) e *L*: comprimento da tora (m).



Foto: Maurel Behling

Figura 4. Carregamento de toras curtas de teca para comercialização após desbaste.

Composição do banco de dados para estudos de crescimento e produção

Este conjunto de informações coletadas nos inventários florestais, por um certo período, em diferentes idades do povoamento, permitirá ao engenheiro florestal fazer estudos que correlacionem estas variáveis com a idade (variável tempo). E quando validados, os modelos de crescimento e de produção poderão ser empregados para fazer prognoses de produção ou simulações de cenários de manejo.

Compor uma base de dados que seja satisfatória, confiável e consistente é o primeiro passo. Além disso, é importante conhecer os princípios estatísticos e matemáticos envolvidos em todos os tipos de modelagens empregadas pelos engenheiros florestais. Isto permitirá ao engenheiro florestal responder boa parte das perguntas demandadas pelos produtores de teca e de maneira precisa.

Crescimento do povoamento de teca

É sabido que o crescimento de uma árvore é afetado pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação genótipos x ambientes. Como conhecimento consolidado, os principais fatores ambientais que afetam o desenvolvimento das plantas e, por conseguinte da teca, podem ser ordenados em: a) fatores climáticos, b) fatores edáficos e c) fatores associados aos manejos silviculturais adotados. Os fatores climáticos estão diretamente associados à posição geográfica que a planta ocupa no globo terrestre. Dentre todos os fatores climáticos que influenciam o crescimento da teca, são citados: 1) radiação solar - que pode afetar diversos processos fisiológicos da teca, além de ser fonte de energia para a fotossíntese e é o fator ambiental mais importante na sinalização para o seu crescimento; 2) temperatura - importantíssima para o crescimento da teca e a sua quantidade é correlacionada com a latitude, altitude e mês do ano. A sua ação se verifica na fotossíntese, na divisão celular, na respiração e na transpiração; 3) água - é o fator vital e participa em todos os processos bioquímicos e fisiológicos da teca; 4) umidade; 5) concentração de CO_2; 6) nutrientes, entre outros. Detalhes sobre os fatores genéticos, edáficos e aqueles relacionados aos manejos silviculturais adotados serão descritos no decorrer do texto.

O crescimento consiste no alongamento e engrossamento de raízes, do tronco e dos galhos de uma árvore. Desta maneira, influencia diretamente no seu peso, no volume de madeira e na forma. O crescimento linear de todas as partes da árvore é originário do meristema

primário e o crescimento em diâmetro é originário do meristema secundário ou câmbio, pela decomposição de camadas justapostas de lenho.

De maneira geral, são observadas as seguintes fases de crescimento da teca: 1) período inicial ou juvenil, com crescimento lento, mas crescente; 2) período de crescimento rápido, com crescimento mais acelerado e 3) período de maturação, com crescimento lento, diminuindo naturalmente.

A caracterização da estrutura anatômica da madeira, da fenologia e de suas relações com atividade cambial da teca foi estudada por Cardoso (1991). O autor cita que as camadas de crescimento na teca são visíveis a olho nu e são demarcadas pelas faixas do parênquima inicial, que se associam aos anéis porosos, possibilitando assim a realização da análise de tronco para estudo do crescimento.

Existem muitas maneiras de representar o crescimento de uma árvore. Dentre as mais usuais no meio florestal estão o incremento corrente anual (ICA), o incremento médio anual (IMA) e o incremento periódico anual (IPA).

O incremento pode ser definido como sendo a reação da árvore frente à ação das leis naturais e suscetível ao clima, solo, espécie, composição florística e idade. Segundo Schneider (2002), trata-se de uma relação entre o espaço e tempo. O grau de crescimento da teca varia de acordo com a qualidade do sítio onde ela está instalada.

Na Tailândia, em condições edáficas favoráveis tais como solos ricos e profundos, dotados de adequada umidade, a teca pode alcançar cerca de 68 cm de diâmetro, aos 60 anos de idade. Em sítios médios, ela leva quase 150 anos para crescer a mesma dimensão. Já em condições desfavoráveis, essa dimensão será alcançada aos 250 anos ou 300 anos de idade (Banijbthana, 1957).

Chaturvedi (1995) acrescenta que, na Índia, os povoamentos de teca tiveram um IMA de volume de madeira de 1,05 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Em Java, aos 80 anos, esse incremento foi 9,8 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1970).

De acordo com Krishnapillay (2000), a plantação de teca pode chegar a ter classes de crescimento entre 10-20 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Entretanto, em sítios mais pobres, em geral, ela varia de 4-8 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Htwe, 1999).

Em Kerala e Bangladesh, por uso de material genético inferior ou por escolha de sítios inadequados, em conjunto com um sistema de manejo inadequado, povoamentos de teca

incrementaram, em média, valores entre 2-3 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Na América Central e no Caribe, o IMA obtido foi 8 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Em El Salvador, em plantios de cinco anos, o IMA foi 15,5 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, com DAP médio de 11 cm e a altura média de 11 m (Keogh, 1995).

Na savana africana, os IMAs de teca variam muito e, nos casos mais prementes, podem chegar a valores insignificantes entre 1-1,5 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Já nos melhores sítios africanos, o IMA varia entre 7-11 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (FAO, 1975).

Na Costa Rica, segundo Pandey (1996), o IMA para teca em plantios jovens é estimado em 15 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Baseado em outras experiências existentes na Costa Rica, o autor cita que, nos melhores sítios, o IMA pode chegar a 20 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e, nos piores sítios, a 12 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

Em Mato Grosso, o incremento na fase juvenil da teca é acelerado, atingindo 3 m de altura no primeiro ano e 5 m de altura aos três anos de idade. Os IMAs, de acordo com a Cáceres Florestal (1997, 2006), variam entre 10-15 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Essa informação é validada pela Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários de Mato Grosso (Mato Grosso, 2001). De maneira geral, em Mato Grosso, os IMAs variam entre 10-20 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Centeno, 1997).

Como já abordado, diversos fatores interferem no crescimento e na produção da teca, em especial aqueles relacionados ao genótipo (origem, procedência, grau de melhoramento, material clonal ou seminal), local (escolha do local, características edáficas, climáticas e fisiográficas), manejo (preparo do terreno e solo, sistema de cultivo (monocultivo ou integração), espaçamento e arranjo espacial, plantio, replantio, irrigação (molhamento), fertilização, controle da mato-competição, regime de poda artificial, desbaste e controle preventivo e curativo de pragas, doenças e incêndios) e, somada a esses fatores, tem-se a gestão do empreendimento, que se fundamenta no projeto técnico, no plano de manejo e na condução dos povoamentos.

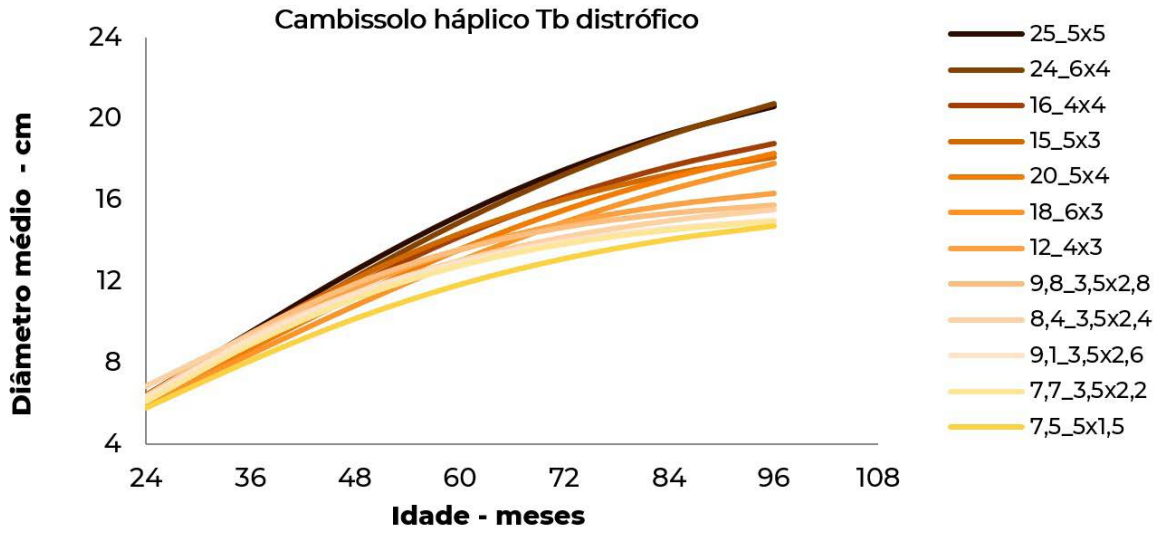
Com base em informações técnicas e científicas, já se sabe que a teca é uma espécie muito sensível à competição e responsiva às condições de manejo. Para elucidar esta constatação e o efeito dos sistemas de cultivo e de regimes de manejo sobre o crescimento e a produção, são apresentados alguns relatos de estudos e de experiências envolvendo a teca.

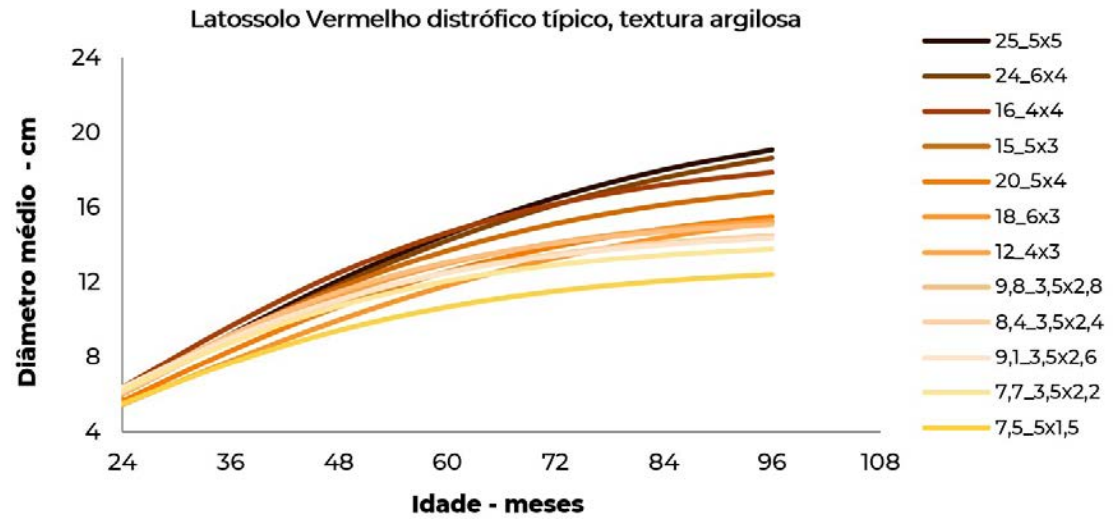
O método de preparo de solo pode interferir no crescimento inicial da espécie. Plantas de teca, em cultivo convencional, na fase de estabelecimento, apresentam maior crescimento e homogeneidade do que no cultivo mínimo (ou reduzido) do solo, que apresenta maior heterogeneidade do crescimento na fase inicial. Moretti et al. (2014)

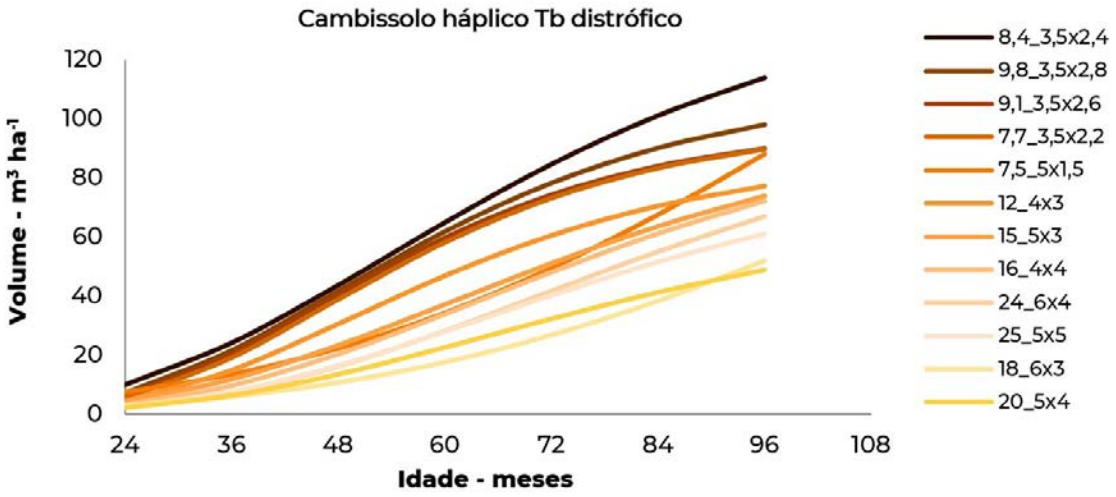
avaliaram o crescimento inicial da teca em solo preparado de forma convencional (gradagem aradora + gradagem niveladora) e em cultivo mínimo (coveamento e escarificação na linha de plantio). Aos 12 meses de idade, observou-se que a teca, em cultivo convencional, apresentou maior crescimento em altura total (40%) e diâmetro do coleto (30%), se comparado com cultivo mínimo em covas e escarificação, sendo que essas duas últimas apresentaram resultados semelhantes.

A escolha do local também é importante e influenciará muito na produção do povoamento. Isso requer o conhecimento das características do local, sobretudo, edáficas e fisiográficas que regularão a produção. Diversos recursos poderão ser utilizados para a estimativa da produção da teca em função do local, tais como zoneamento (Medeiros, 2016) e classificação da capacidade produtiva (Campos; Leite, 2017).

Além da escolha do local, a definição do arranjo e do espaçamento inicial de plantio influenciará nas taxas de crescimento e de produção, no regime de desbaste, na desrama e na colheita, na sobrevivência, na idade de corte, nos custos e nos rendimentos operacionais das operações de implantação, de manutenção e de colheita (Paiva et al., 2011). Para exemplificar o efeito do espaçamento e do local sobre o crescimento (diâmetro quadrático médio) e sobre a produção (volume com casca), Medeiros (2016) avaliou povoamentos de teca implantados em dois locais (Cambissolo e Latossolo) e 12 espaçamentos e arranjos espaciais (5,0 m x 1,5 m, 3,5 m x 2,2 m, 3,5 m x 2,4 m, 3,5 m x 2,6 m, 3,5 m x 2,8 m, 4 m x 3 m, 5 m x 3 m, 4 m x 4 m, 6 m x 3 m, 5 m x 4 m, 6 m x 4 m e 5 m x 5 m) (Figura 5).







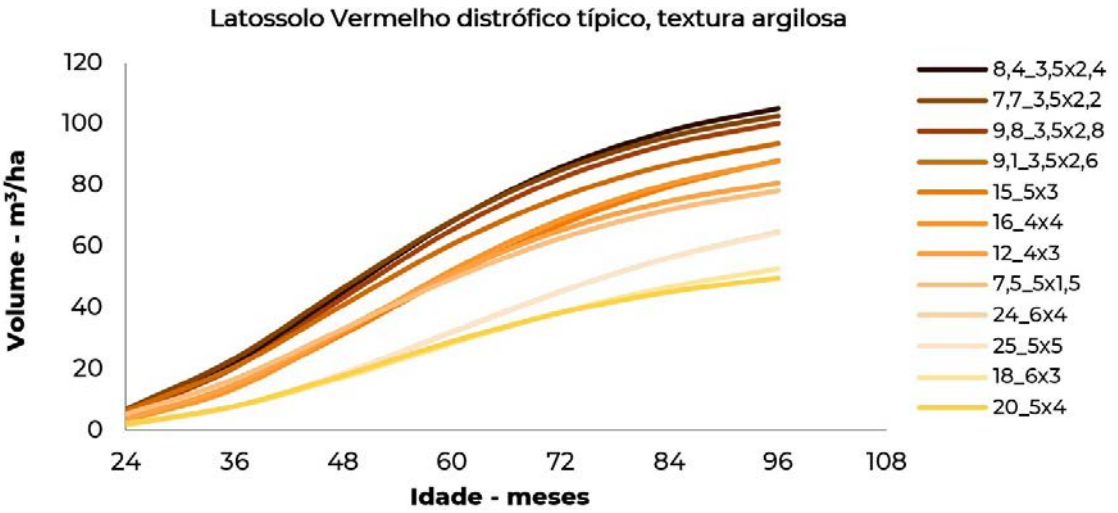


Figura 5. Estimativa e tendência de crescimento do diâmetro quadrático médio e do volume de madeira com casca de teca, em diferentes espaçamentos, idades e locais.

Fonte: Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2022).

De acordo com o autor, o ingresso das árvores nas classes diamétricas diminui com a idade, independente do espaçamento e do arranjo espacial. A estagnação do crescimento ocorre mais cedo nos espaçamentos mais adensados, onde as plantas apresentam maiores taxas de crescimento inicial, resultando em menores idades técnicas para aplicação do desbaste, que aumenta à medida em que se eleva a área útil por planta. Linhas de plantio mais largas não implicam, necessariamente, em maior idade técnica do primeiro desbaste. O diâmetro médio é maior nos espaçamentos mais amplos e diminui à medida em que se reduz o espaço de crescimento devido à competição entre as árvores. A produção total é maior nos espaçamentos mais adensados, porém, a produção individual é maior nos espaçamentos maiores.

Ainda sobre o efeito do local, para um mesmo espaçamento e arranjo espacial, verificou-se uma tendência de maior crescimento das árvores e menor idade técnica de desbaste no Cambissolo quando comparado ao outro povoamento implantado em Latossolo. Isso sugere que a capacidade produtiva do Cambissolo seja maior que a do Latossolo. Conforme Leite et al. (2006) e Paiva et al. (2011), em locais de maior capacidade produtiva, as árvores atingem a estagnação do crescimento mais cedo, por apresentarem maior taxa de crescimento.

Outra observação importante, mas não relacionada no estudo de Medeiros (2016), é o efeito do arranjo espacial e do espaçamento inicial sobre o crescimento diamétrico da teca, especialmente quando implantada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e em espaçamentos muito retangulares, com distância entre plantas variando entre 2-3 m. Neste caso, além de observar o crescimento em altura total e o diâmetro a 1,3 m de altura do solo, deve-se analisar também os diâmetros na linha e na entrelinha e os parâmetros morfométricos da copa, afim de evitar a ocorrência de excentricidades de medulas e de fustes elípticos.

O tipo de material genético e o sistema de cultivo (monocultivo ou SAF/ILPF) podem interferir de modo significativo no crescimento da cultura. Em área experimental no município de Figueirópolis d'Oeste, MT, aos 132 meses de idade, foram avaliados dois tipos de plantas de teca (clonal e seminal), dois sistemas de cultivo até a idade de 30 meses de idade (monocultivo e Taungya com milho) e dois sistemas de cultivo após 30 meses de idade (monocultivo e silvipastoril), espaçamento inicial de 4 m x 2 m, em um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico (Figura 6), sendo: CL_TA_MC: plantas clonais em sistema Taungya na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, monocultivo; CL_MC: plantas clonais em monocultivo; CL_TA_SS: plantas clonais em sistema Taungya na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, sistema silvipastoril; CL_MC_SS: plantas clonais em monocultivo na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, sistema silvipastoril; SE_TA_MC: plantas seminais em sistema Taungya

na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, monocultivo; SE_MC: plantas seminais em monocultivo; SE_TA_SS: plantas seminais em sistema Taungya na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, sistema silvipastoril e SE_MC_SS: plantas seminais em monocultivo na fase de estabelecimento e, na fase seguinte, sistema silvipastoril.

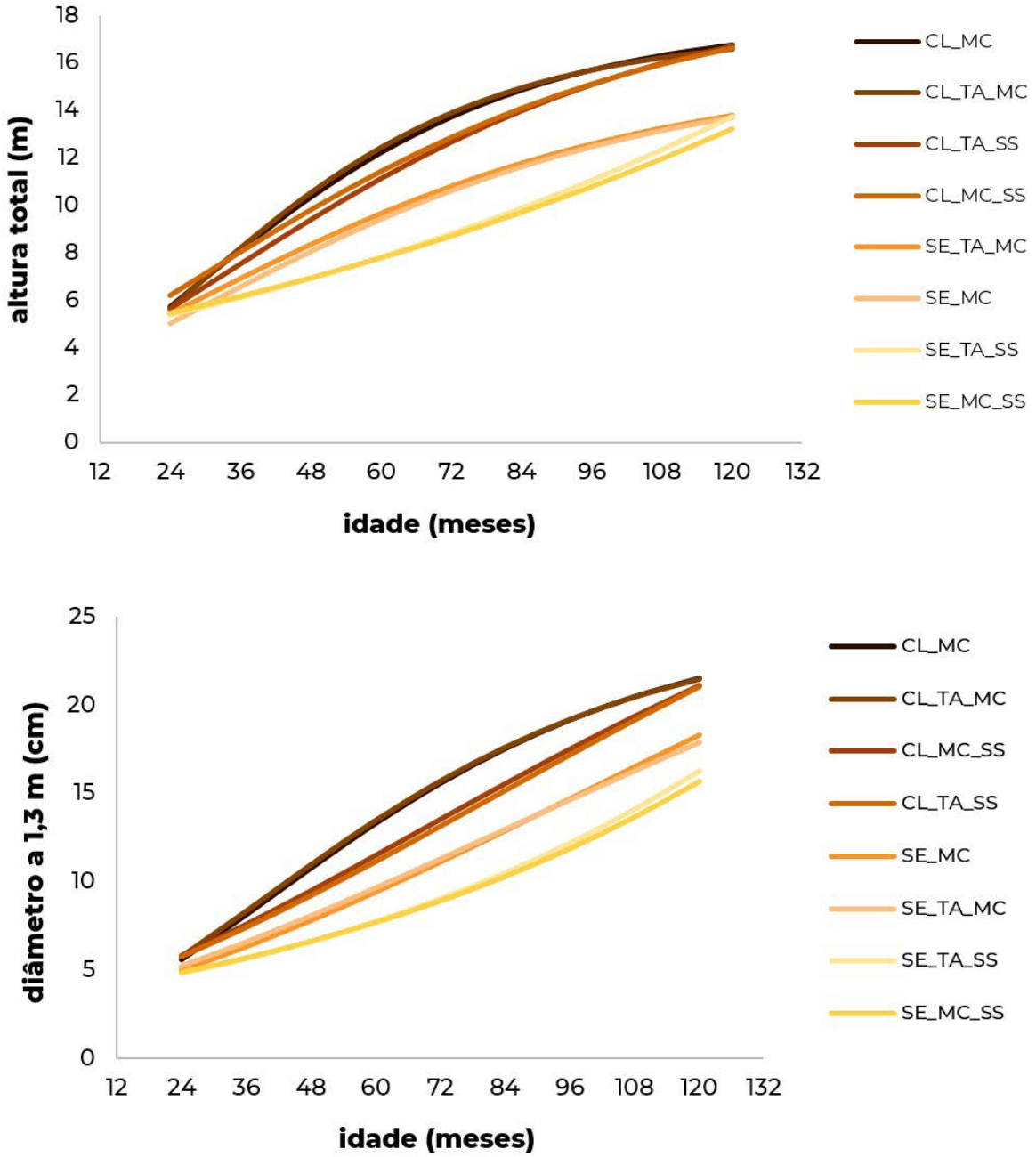


Figura 6. Altura total média e diâmetro médio (1,30 m de altura do solo) de povoamentos clonais e seminais de teca, em sistemas de monocultivo e agroflorestal, no município de Figueirópolis d'Oeste, MT.

Fonte: Reginaldo Antonio Medeiros.

Legenda: CL: clonal, SE: seminal, TA: Taungya, MC: monocultivo e SS: silvipastoril.

De forma geral, na idade de 96 meses, antes da aplicação do primeiro desbaste, povoamentos clonais apresentaram crescimento médio em diâmetro 16% superior àqueles formados por mudas seminais. Para a altura total, a diferença foi 12% superior também para os clones. Ao longo das idades, plantas de teca em monocultivo apresentaram crescimento superior quando comparadas com plantas seminais em competição com o capim braquiária (*Urochloa brizantha*). Este efeito é mais acentuado para do diâmetro médio, se comparado com a altura total média. Contudo, ao retirar a competição com a braquiária, na idade de 108 meses, as árvores de teca (seminais e clonais) retomaram o seu crescimento.

Em condição de viveiro, Medeiros et al. (2018a) avaliaram os efeitos das concentrações de serapilheira de raízes e da parte aérea de braquiária (0%, 5%, 10%, 20%, 33% e 50%) na composição de substratos para produção de mudas de teca. Foi observado que a medida em que aumenta a concentração da forrageira na composição do substrato, o crescimento da teca diminui, especialmente para o diâmetro do coleto, o que demonstra o efeito inibitório pelo efeito da competição.

Ainda sobre o estudo do efeito da mato-competição sobre o crescimento da teca, deve-se considerar que muitos povoamentos são implantados em áreas anteriormente ocupadas por pastagens, sobretudo gramíneas do gênero *Urochloa* (braquiárias). A teca é muito sensível à competição, sobretudo com braquiária, com efeitos significativos sobre o crescimento na fase de estabelecimento da cultura. Para exemplificar, Domingos Júnior e Coelho (2018) avaliaram quatro diferentes métodos de controle de *Urochloa decumbens* sobre o crescimento inicial de teca: 1) controle; 2) controle contínuo; 3) controle após seis meses de competição e 4) controle em raio de 60 cm ao redor das mudas. Após 22 meses de estudos, verificaram que o controle contínuo foi efetivo e influenciou de modo positivo no crescimento da teca, sendo que a altura foi 62,31% superior, quando comparada com o tratamento sem controle da mato-competição. Já o tratamento controle, após seis meses, foi 21,07% superior e aquele com coroamento tradicionalmente usado nos empreendimentos florestais apresentou crescimento superior em 18,69% de altura total, quando comparado ao método sem controle. Os autores recomendam que a melhor estratégia de manejo de ervas daninhas, no caso *Urochloa decumbens*, é a eliminação total da mato-competição.

Apesar da variabilidade dos solos brasileiros, a maioria deles apresenta acidez, é intemperizada, geralmente pobre em nutrientes, com alta adsorção de fósforo. Por isso, a fertilização requer atenção especial no cultivo da teca, uma vez que a espécie é exigente quanto ao pH e, também, quanto aos teores de cálcio, de fósforo, de magnésio e baixa tolerância ao alumínio, além de ser responsiva à adição de fertilizantes (Matricardi, 1989).

Embora existam informações técnicas e científicas sobre fertilização no campo (Matricardi, 1989; Behling, 2009; Pelissari et al., 2012, 2014a; Favare, 2013; Behling et al., 2014), ainda há necessidade de estudos envolvendo épocas de aplicação, dosagens, tipos de fertilizantes, eficiência de absorção e uso, entre outros fatores e a correlação com o crescimento e com a produção de teca.

Contudo, o Programa em Nutrição e Solos Florestais (NUTREE), da Universidade Federal de Viçosa (UFV) tem desenvolvido pesquisas gerando produtos e processos que auxiliam na indicação de fertilizantes e de corretivos para o solo, em função da cultura, do sítio florestal, da partição de nutrientes na planta, da produtividade esperada, da eficiência de utilização dos nutrientes, da ciclagem de nutrientes e das características do projeto. Como exemplo, Oliveira (2003) propôs um sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e de adubação para povoamentos de teca, denominado NUTRITECA®. Já Behling (2009) propôs o sistema FERTTECA®, um tipo de modelo de crescimento, baseado em processos de P*hysiological Principles in Predicting Growth* (3-PG). Posteriormente, Pontes (2011) desenvolveu estudos para aprimorar os sistemas FERT-UFV TECA® (submodelo Planta) e NUTRI-UFV TECA® para a recomendação de fertilização e o monitoramento nutricional dessa cultura, no estado de Mato Grosso.

Na Costa Rica, Alvarado e Fallas (2004) observaram que o IMA em altura das árvores cultivadas em solos com pH<6 (Figura 9), com idades variando entre 0-25 anos, reduzem de 3,9 m ano^{-1} a 1,5 m ano^{-1} quando a saturação da acidez do solo aumenta de 1% para 5,8%. Isso se torna mais acentuado à medida em que a saturação da acidez aumenta. Por outro lado, em solo com saturação de cálcio abaixo de 67,6%, o IMA em altura é 1,75 m ano^{-1}, valor que aumenta à medida que a saturação de cálcio também aumenta. Oliveira (2003) também sugere que a saturação de bases para a teca seja em torno de 65% e pH=6,0.

Da mesma forma que os fatores já citados, as definições dos regimes de desramas e de desbastes também influenciam no crescimento e na produção (Paiva; Leite, 2015). Em geral, as desramas em teca são executadas a partir do segundo ano, sendo retirados ramos até um terço da altura total das árvores; no terceiro ano, recomenda-se retirar ramos até metade da altura total e, no quarto ano, até dois terços da altura. A partir desta idade, a manutenção das desramas se dará pela remoção de galhos até 7 m de altura (Pelissari, 2012). Desramas severas nas idades iniciais poderão reduzir o índice de área foliar e influenciar de modo negativo no crescimento da teca. Assim, recomenda-se deixar, no mínimo, 40% de copa verde remanescente.

No trabalho de Vieira et al. (2010), os autores quantificaram os efeitos de diferentes intensidades de desramas no crescimento da teca, em espaçamento de 3 m x 3 m, no estado de Rondônia, em diferentes idades. Foi verificada significativa interferência das intensidades de desramas mais severas no crescimento em diâmetro das árvores, em especial àquelas cujas retiradas de agalhos foi acima de 50% (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de diâmetro à altura do peito (DAP) de árvores de teca, aos 21, 33 e 45 meses após o plantio, considerando diferentes intensidades de desramas artificiais.

Intensidade de desrama (%)	DAP (cm)		
	Idade após plantio (meses)		
	21	33	45
0	6,00[a]	10,59[a]	13,11[a]
25	6,11[a]	10,76[a]	12,83[a]
50	6,02[a]	10,23[a]	12,52[a]
70	5,94[a]	9,03[b]	11,24[b]

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Scott Knott a 1% de probabilidade.
Fonte: Adaptado de Vieira et al. (2010).

Outra técnica silvicultural importantíssima no cultivo da teca é o desbaste. O objetivo dessa prática é evitar a mortalidade natural dos indivíduos devido à forte competição por recursos entre as árvores, sendo influenciado pelo sítio, pelo material genético, pelo espaçamento e pelo arranjo inicial de plantio, pelo tipo e peso de desbaste, pelos fatores econômicos e pelo gerenciamento das atividades. Por outro lado, o desbaste influencia no crescimento, na produção e na rotação, bem como na qualidade das características tecnológicas da madeira. Diante disso, a definição de um regime de desbaste deve conter a idade do primeiro desbaste, o ciclo de desbastes, o peso de cada desbaste e o tipo de desbaste (Paiva; Leite, 2015).

No trabalho de Silva et al. (2016), os autores verificaram que, em povoamentos de teca de origem seminal, com idade de 16 anos e espaçamentos iniciais de 3 m x 2 m, 4 m x 2 m, 5 m x 2 m e 6 m x 2 m, as médias de DAP, de altura total, de área basal e de volume de madeira com casca foram afetadas negativamente pela ausência de desbaste. Além disso, nos espaçamentos maiores, as médias de diâmetro e de volume individual foram maiores, ao passo que a produção total foi maior nos espaçamentos mais adensados. Resultados semelhantes foram verificados em povoamentos de teca no município de Água Boa, MT, em 12 espaçamentos (5,0 m x 1,5 m, 3,5 m x 2,2 m, 3,5 m x 2,4 m, 3,5 m x 2,6 m, 3,5 m x 2,8 m, 4 m x 3 m, 5 m x 3 m, 4 m x 4 m, 6 m x 3 m, 5 m x 4 m, 6 m x 4 m e 5 m x 5 m) e diferentes sítios por Medeiros et al. (2017a, 2018b).

Esses autores comentam que a idade técnica do primeiro desbaste variou entre 6-8 anos nos espaçamentos estudados e que a idade do primeiro desbaste subiu à medida em que a área útil por planta também aumentou. Uma constatação importante é que uma maior distância entre linhas de plantio não implica necessariamente em maior idade técnica do primeiro desbaste.

No município de Nossa Senhora do Livramento, MT, Caldeira e Oliveira (2008) avaliaram os efeitos das intensidades no primeiro desbaste, do tipo seletivo, em povoamentos de teca espaçados em 3 m x 3 m, aos 4 anos e 5 anos de idade, em intensidades de 0%, 30%, 40% e 50% do número de indivíduos. Os autores verificaram que um ano após os desbastes, no povoamento desbastado aos 4 anos de idade, as médias de DAP, de altura total, de área individual transversal e de volume individual de madeira com casca não foram afetados, porém houve redução nos valores de ICA. Por outro lado, no tratamento que foi desbastado, na idade de 5 anos, houve aumento das médias de diâmetro, de área individual transversal e de volume individual de madeira, em relação ao povoamento não desbastado, mas as médias de altura total e os valores de ICA não foram afetados.

Já Araújo (2012) avaliou o efeito do primeiro desbaste, nas intensidades de 0%, 20%, 30% e 40% da área basal, sobre o crescimento e a produção de teca, aos 11 anos de idade, em espaçamento inicial de 3 m x 2 m, no município de Iracema, RR. A remoção de 40% da área basal apresentou as maiores médias para volume total individual com casca e comercial sem casca, diâmetro e área basal. Os parâmetros morfométricos foram influenciados, aumentando a medida em que as intensidades dos desbastes aumentaram, exceto para o índice de saliência e forma de copa.

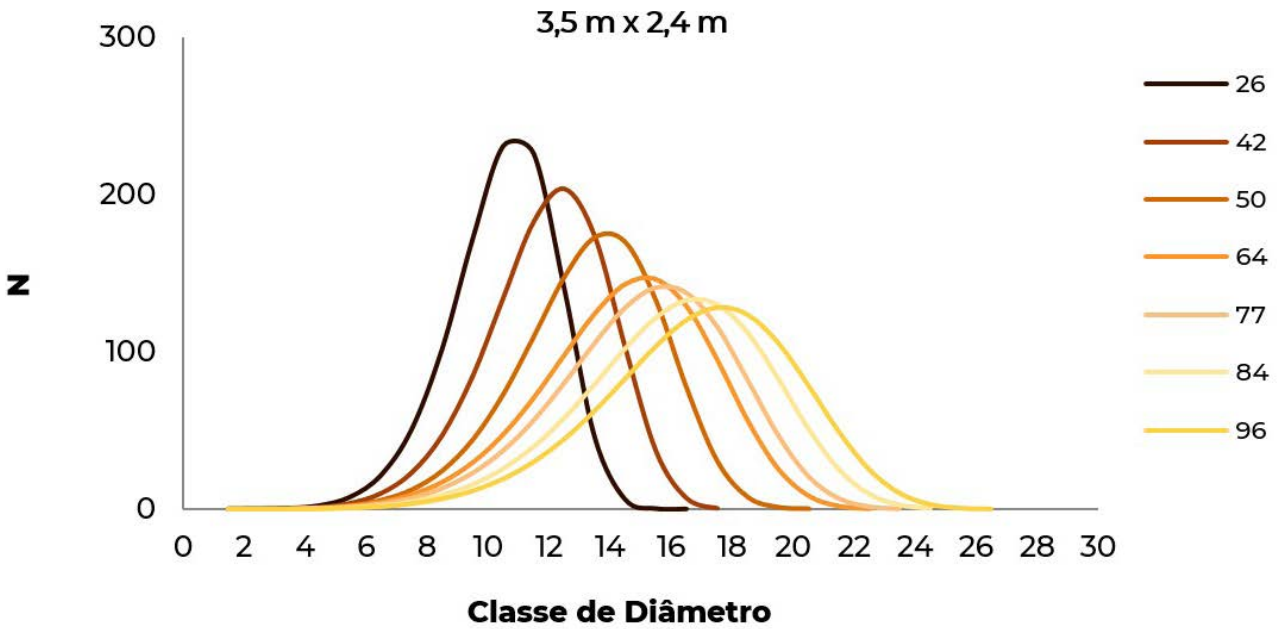
Na região de Sinop, MT, Garcia (2006) avaliou os efeitos das diferentes intensidades de desbastes (0%, 14%, 20%, 30%, 40% e 50% da área basal total) em um povoamento de teca, aos 60 meses de idade. Foi observado que, após um ano de aplicação dos desbastes, a intensidade de 50% de desbaste promoveu as maiores médias de altura, de área basal e de volume, ao passo que a intensidade de 40% proporcionou maiores incrementos em diâmetro.

Um aspecto importante que deve ser considerado em estudos relacionados ao efeito de práticas silviculturais, como desbaste, desrama, controle da mato-competição e fertilização, é o efeito da interação entre essas práticas, considerando ainda o material genético, o local, a idade e as intensidades em que são aplicados. Essas intervenções silviculturais influenciam na dinâmica de crescimento da copa, na eficiência fotossintética, na absorção de nutrientes, na transpiração e no uso da água, bem como as espécies, o local e a idade em que são aplicadas (Forrester et al., 2010, 2012, 2013).

Outro aspecto relevante que deve ser considerado na definição de regimes ótimos de desbaste é o monitoramento do crescimento e da produção, com base em bancos de dados consistentes, oriundos de inventários florestais contínuos. Esses dados, quando processados (e, nestes casos, existem diversos recursos auxiliares como: computacionais, softwares, modelos, inteligência artificial, sensores de imagem, dentre outros), podem gerar informações que facilitam as análises, por meio de predições e de prognoses e que podem auxiliar nas tomadas de decisões. O ideal é que a aplicação do desbaste seja realizada antes que o povoamento atinja sua produtividade máxima, pois, neste caso, a competição e, consequentemente, a estagnação do crescimento já estariam estabelecidos.

Como exemplo, Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2017a) verificaram que, independentemente do espaçamento, do arranjo espacial de plantio e do local, é possível utilizar modelagem de dados, por meio de modelos de crescimento e de produção.

Observam-se nas Figuras 7 e 8 que, com o passar do tempo, as distribuições dos diâmetros se achatam e se deslocam para a direita. Nos espaçamentos mais adensados, as curvas de distribuição diminuem com as idades mais avançadas, em função do menor espaço de crescimento e do início da competição entre plantas, levando à diminuição dos ingressos das árvores nas sucessivas classes de diâmetro. Já nos espaçamentos maiores, as curvas de distribuição de diâmetros são mais platicúrticas e abrangem um maior número de classes diamétricas (Medeiros et al., 2017a).



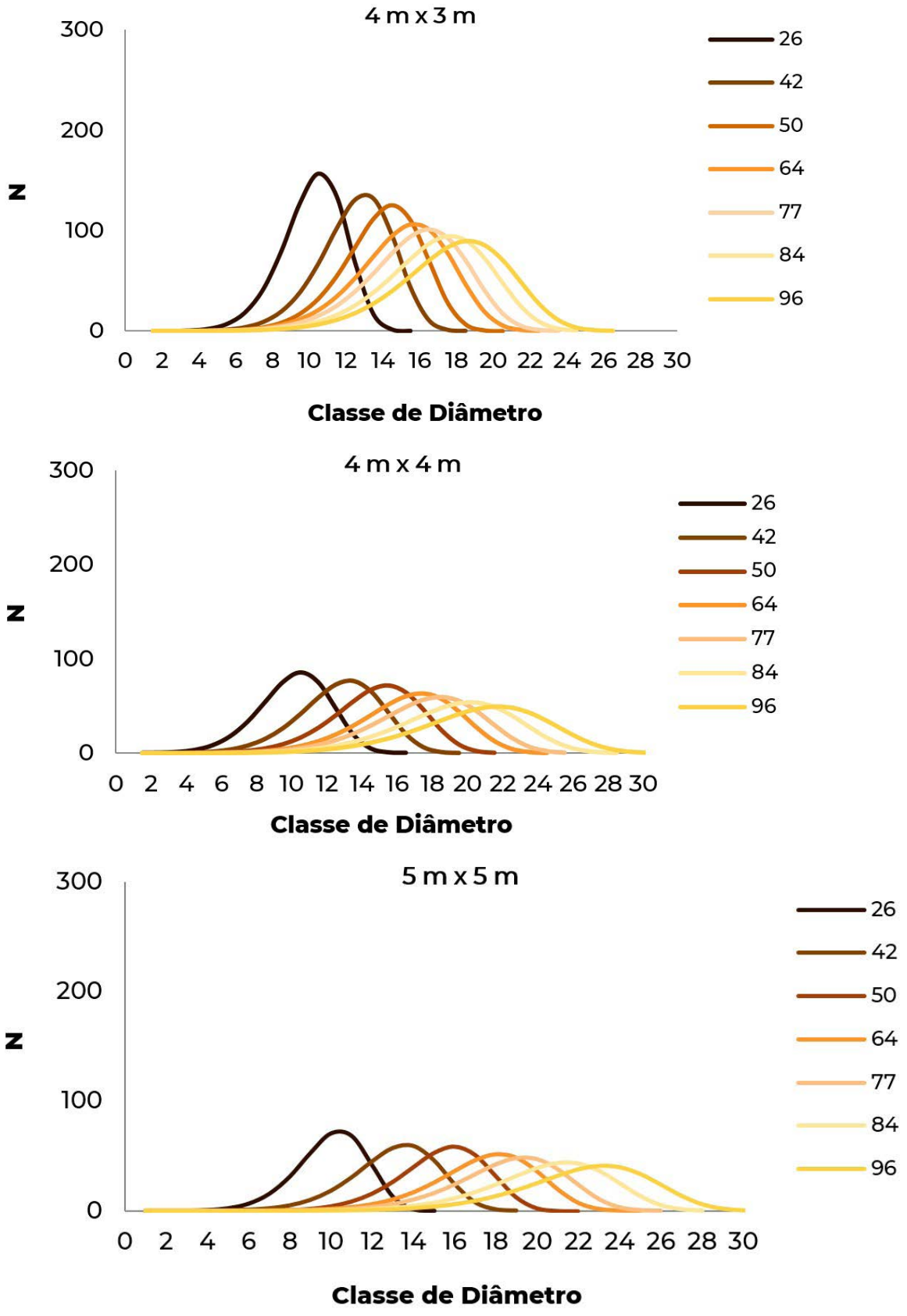


Figura 7. Número de árvores de teca por hectare (eixo y), por classe de diâmetro (eixo x), em diferentes espaçamentos, arranjos espaciais e idades.

Fontes: Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2017a).

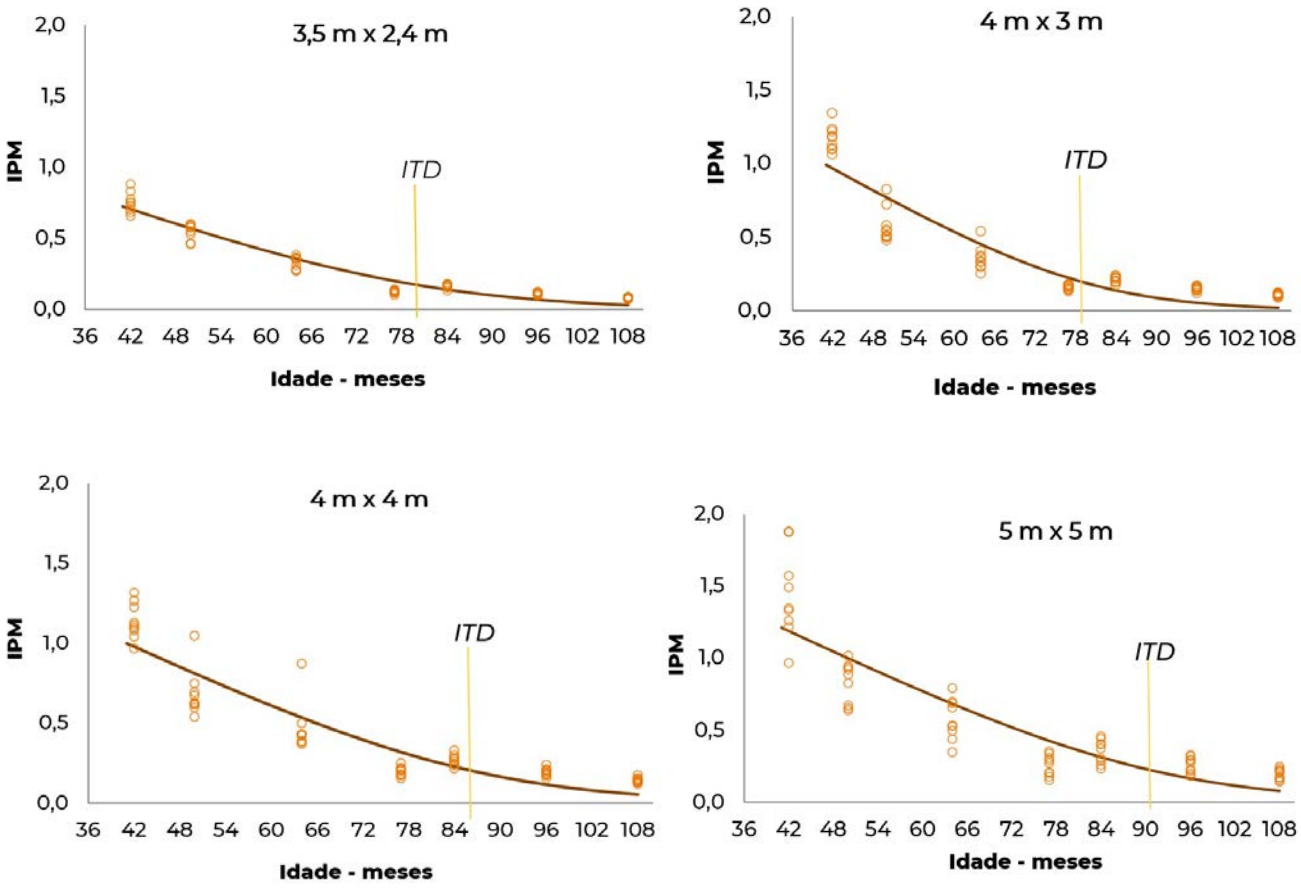


Figura 8. Idade técnica de desbaste (ITD) para teca, indicada pela curva expolinear de ingresso percentual mensal (IPM), em função da idade, em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais.
Fontes: Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2017a).

Verifica-se ainda, por meio dos modelos de distribuição de diâmetros e pelo método dos ingressos percentuais, que a idade técnica do primeiro desbaste em plantações de teca é identificada em até um ano antes que o povoamento entre em estagnação do crescimento.

Algumas informações sobre os diversos sistemas de manejo de teca

Um povoamento florestal aumenta seu incremento de madeira quando as árvores que o compõem crescem. Com isso, aumenta significativamente a sua área basal até o momento em que começa a ocorrer competição entre os indivíduos. A partir daí, caso

permaneça um número de árvores excessivo, a área basal diminui devido à alta densidade, competição e mortalidade.

Essa redução em área basal total pode ser ocasionada pela diminuição na produção fotossintética e pela limitação da quantidade de água e de nutrientes absorvidos por cada indivíduo e, também, pela falta de desenvolvimento do sistema radicular. Assim, os desbastes permitem aumentar o espaço disponível a cada árvore, proporcionando o desenvolvimento equilibrado da sua copa e sistema radicular. A aplicação de desbastes pode, em função de sua intensidade, acarretar a diminuição da produção total, porém tem o propósito primordial de aumentar a produtividade comercial dos sortimentos desejados, com elevação das dimensões das toras.

A realização dos desbastes se faz necessária quando as estimativas de IMA de diâmetro, de altura e de volume de madeira começam a ser iguais ou inferiores àquelas dos anos anteriores. Tal situação indica que o povoamento se encontra em plena competição por recursos como água, luz e nutrientes. Assim sendo, o desbaste de algumas árvores visa reduzir esse grau de competição no povoamento, proporcionando condições mais favoráveis de crescimento aos indivíduos remanescentes. Portanto, o monitoramento das variáveis altura, diâmetro e volume de madeira, mediante utilização de parcelas permanentes, é de suma importância na definição do momento de realização dos desbastes.

No que tange ao tempo de rotação, Bhat (2000) afirma que a teca pode ter rotações variando entre 21-60 anos, mantendo suas propriedades físico-mecânicas. Assim, o IMA em rotações mais curtas é quase duas vezes maior que aquele de plantações com rotações aos 60 anos. O pesquisador conclui, então, que os gerentes das plantações podem produzir maior diâmetro com maior produção (cilindro maior) por árvore, acelerando o crescimento com rotações mais curtas.

Behaghel (1999) salienta que pressupostos econômicos favorecem rotações curtas. Mas, questiona se fustes de teca deveriam ser cortados em rotações curtas (15-20 anos) e gerar renda depressa, ou se seria melhor partir para a produção de diâmetros maiores, com rotações entre 40-50 anos, com possibilidade de melhores preços para os fustes.

A realização da desrama tem sido prática comum nos plantios comerciais de teca, sendo realizada após os dois anos de idade. As árvores são podadas com o objetivo de se obter madeira de melhor qualidade e livre de nós. Até hoje, o desbaste de limpeza somente é feito para eliminar plantas defeituosas, quebradas ou entortadas pelo vento. É planejado um desbaste aos seis anos e o desbaste comercial somente aos 13 anos ou 15 anos. A idade

final de rotação irá depender da forma do fuste e do diâmetro, porém o corte final deve ficar entre 25-30 anos (Schmincke, 2000).

A densidade ideal para plantios de teca, segundo Centeno (1997), está entre 1.200-1.600 plantas ha^{-1}. Em condições naturais, a teca atinge, nos bons sítios, 0,283 m^3 $árvore^{-1}$ e, nos ótimos sítios, aos 20 anos, 0,60 m^3 $árvore^{-1}$, com um número máximo de 100 árvores por acre. Nesses casos, o sistema de manejo é o desbaste aos 10 anos e aos 15 anos, com corte raso aos 20 anos, utilizando-se fertilizantes e irrigações.

Centeno (1997) cita que a altura dominante e a área basal acumulada são bons parâmetros utilizados para avaliar o estoque e definir o regime de desbastes. O primeiro desbaste na teca pode ser realizado quando a área basal média atingir entre 20-23 m^2 ha^{-1} e o segundo desbaste entre 13-15 m^2 ha^{-1}. Esse autor cita ainda que, nos melhores sítios em Mianmar, a teca pode atingir 60 cm de DAP e 30 m de altura, aos 50 anos de idade. Em geral, a rotação pode variar entre 25-40 anos. Entretanto, a média da Ásia é 60 anos e, na América Central e do Sul, de 20-30 anos. Porém, podem também ser encontrados povoamentos de teca na América com rotações semelhantes àquelas da Ásia, ou seja, 80 anos. Como regra geral para teca, Centeno (1997) afirma que ela deveria ser plantada nos melhores sítios e que o desbaste deveria ser feito quando a árvore de teca atingisse altura total entre 9,0-9,5 m e o segundo desbaste quando atingisse entre 17-18 m.

Krishnapillay (2000) cita que o número de árvores ideal para o final de rotação pode ser 300. Porém, não sugere o sistema de manejo e os seus devidos desbastes até o corte final. Algumas informações sobre o crescimento de teca, na Malásia, de acordo com Krishnapillay (2000), são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de crescimento médio da teca em condições de plantio, na Malásia.

Característica	Estimativa
Crescimento em altura no primeiro ano (m)	4,0
IMA em diâmetro (cm ano^{-1})	1,5-2,0
DAP aos 15 anos (cm)	25,0-35,0
Altura total aos 15 anos (m)	22,0-25,0
Volume por árvore aos 15 anos (m^3)	0,50

Fonte: Krishnapillay (2000).

Schuster (1999), em estudos no município de Santo Antônio do Leverger, MT, identificou que o melhor desbaste para teca é do tipo baixo e que a melhor intensidade de desbaste é 40% do número inicial de indivíduos no povoamento, sendo este desbaste realizado aos cinco anos de idade. Na Tabela 3 estão descritos alguns regimes de desbaste para teca, em vários países.

Tabela 3. Estimativas de rotação, idade de desbastes e produção total de volume de madeira de teca procedentes de povoamentos florestais.

País	Rotação (anos)	Idade de desbastes (anos)	Produção total (m^3 ha^{-1} ano)	Referência
Índia	60 40	5, 10, 15, 20 e 30 5, 8, 16 e 20	1,00-6,00	Subramanian et al. (1999).
Bangladesh	40	5, 10, 15, 20 e 30	3,00-6,00	Haque (1999).
Sri Lanka	50 40	8, 15, 25, 35 e 50 6, 13, 20, 30 e 40	3,80 7,50	Weerawardane (1999).
Vietnã	40	10, 20 e 30	7,80	Nghia (1999).
Mianmar	40	7, 14 e 21	5,00-8,00	Htwe (1999).
Costa Rica	23 28	4, 8, 11 e 16 5, 9, 13, 18 e 23	10,50 13,60	Ugalde e Cordero (1999).
Brasil	25	-	15,00	Torres (1999).
Costa do Marfim	38	3, 6, 10, 15, 20, 27 e 37	9,80	Dupuy et al. (1999).

Fonte: Mai (1999).

A teca pode atingir 30 m de altura em Mianmar; em Java, a altura total pode variar entre 24-45 m e, na Índia, a altura total média é 43 m (FAO, 1959). As alturas médias de teca, aos 80 anos, são muito similares àquelas em Java, na Índia e na Birmânia, conforme apresentado no estudo de Mai (1999) (Tabela 4).

De acordo com o relatório da FAO (1959), o turno financeiro ideal da teca foi estimado em 60 anos em Java, com DAP médio de 30 cm. Porém, naquele país, o habitual é rotação final de teca entre 80-100 anos. Em Trinidade e Tobago, aos seis anos, a teca possui uma altura média de 6,75 m e, aos 20 anos, altura média de 21,3 m e DAP médio de 23 cm, nos sítios classificados como bons. Em Porto Rico, as árvores dominantes e codominantes, aos 16 anos, atingem DAP médio de 18,8 cm em sítio ruim. No sudoeste da África, fronteira com o Congo, aos 20 anos, a teca apresenta altura média de 22,5 m e DAP médio de 22,6 cm.

No norte da África, as árvores dominantes da teca atingem cerca de 21,3 m de altura média e 20 cm de DAP médio, aos 20 anos. Muitos plantios de teca na África possuem rotação de dez anos, mas com madeira destinada à lenha, com IMA de 19 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Na Nigéria, a plantação de teca, aos 12 anos, atinge DAP médio de 18 cm, altura média de 17 m e área basal de 22 m^2 ha^{-1}.

Tabela 4. Comparação de parâmetros de crescimento de teca em Java e Índia-Mianmar.

Característica	Java	Índia-Mianmar
Altura aos 80 anos (m)	35,97	36,58
DAP médio (cm)	54,60	62,20
Número de árvores (unidades)	49,00	35,00
Produção final de madeira (m^3 ha^{-1})	389,00	305,00
Desbastes acumulados (m^3 ha^{-1})	384,00	115,00
Produção total de madeira (m^3 ha^{-1})	783,00	462,00
Crescimento médio anual (m^3 ha^{-1})	9,80	5,80

Fonte: Mai (1999).

Em seu estudo sobre rotações de teca, em vários sítios pelo mundo, Pandey (1996) relatou que o corte final é feito entre 35-80 anos, com uma idade média de 50 anos. Em tabelas de crescimento na África e em Trinidade e Tobago, a rotação da teca pode ser de 25 anos (Pandey, 1996). O autor cita que, com os modernos processos tecnológicos, podem ser obtidos DAPs entre 35-45 cm, em rotação de 30 anos. Quanto à rotação econômica, segundo o autor, pode haver dois desbastes comerciais e rotação entre 25-30 anos, sendo o primeiro desbaste comercial aos 13-15 anos e o segundo aos 20-22 anos. Keogh (1995) menciona que, em Kerala, Bangladesh e, nos melhores sítios em Mianmar e na Índia, as plantações, aos com 50 anos, apresentam altura média de 30 m e DAP médio de 60 cm. Em Cáceres, MT, Higuchi et al. (1979) compararam o desenvolvimento da teca, em diferentes idades e densidades de plantios, obtendo os seguintes resultados (Tabela 5).

Tabela 5. Desenvolvimento de teca, em diferentes idades e densidades, no município de Cáceres, MT.

Idade (anos)	**Número de árvores** ha^{-1}	**Área basal** (m^2 ha^{-1})	**Volume comercial com casca** (m^3)
6	1.963	24,2135	127,2100
7	1.689	29,6165	177,0930
8	1.438	28,4657	192,2700

Fonte: Higuchi (1979).

Já Briscoe (1995), em estudos para definição da rotação ótima para a teca, em sítios ótimos da Costa Rica, definiu que a melhor idade se situa entre 15-22 anos, com um DAP médio de 40 cm e densidade final entre 160-200 árvores ha^{-1}. Para manejo na Colômbia, Chaves e Fonseca (1991) citam a preferência por rotações curtas, menores que 30 anos e com o manejo da plantação baseado no controle da área basal próxima dos 20 m^2 ha^{-1}, com desbastes a cada cinco anos. Pesquisadores estimam que a rotação da teca para o Brasil e, em especial, para Mato Grosso, encontra-se entre 20-25 anos (Veit, 2000; Finger et al., 2001a, 2001b).

Estudos da capacidade produtiva local (sítio) em povoamentos de teca

O termo sítio é muito utilizado nos meios florestais e ambientais e se refere à influência que o ambiente exerce sobre a produtividade do empreendimento. A definição do termo sítio pode ser encontrada em trabalhos de vários pesquisadores florestais tal como Spurr (1952) que conceituou sítio como a soma das condições efetivas sobre as quais uma planta ou uma comunidade vive.

A capacidade produtiva local para teca, usualmente, é determinada pelos seguintes passos: 1) obtenção dos dados, 2) idade de referência, 3) tipos de curvas, 4) denominação das curvas e 5) determinação da curva média (ou curva-guia). Essa metodologia é seguida por inúmeros pesquisadores para várias espécies e, na teca por: Higuchi et al. (1979), Drescher et al. (2001, 2016), Drescher (2004), Conceição et al. (2012), Chaves (2013), obtendo resultados semelhantes e satisfatórios.

Drescher (2004), Conceição et al. (2012), Chaves (2013) e Drescher et al. (2016), para a determinação da capacidade produtiva de teca, utilizaram o método que se baseia na altura média das árvores dominantes, em uma idade-índice escolhida adequadamente. Drescher (2004) considerou a idade-índice de dez anos e Chaves (2013) considerou 33 anos, como base de comparação com outros estudos realizados com teca, para determinação de sítios e seus respectivos índices.

No estudo de Drescher (2004), para a determinação da capacidade produtiva da teca foi empregado o modelo biológico de Chapman-Richards, que também foi utilizado por vários autores, tais como: Basha et al. (1991), Kadambi (1993), Selle (1993), Rosas (1994), Phillips (1995), Jha (1999) e Tewari (1999). Como exemplo, para descrever o método e seus resultados, será utilizado o trabalho de Drescher (2004) em todas as fases.

Foi ajustado o modelo de Richards (1959), na forma denominada monomolecular (Equação 5):

$$h_{100} = A \cdot \left(1 - \exp^{(-k \cdot t)}\right) \qquad 5$$

Em que: h_{100}: altura das árvores dominantes de teca (m); *t*: idade (anos); *exp*: exponencial; *A*: valor da assíntota e *k*: parâmetro a ser estimado.

Este modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,6924, explicando 70% da variação total pela regressão e um erro padrão da estimativa de 9,5%. Em seguida, definiu-se o número de curvas de índices de sítios necessário para cobrir a variação entre o menor e o maior crescimento em altura dominante. Foram plotados sobre o traçado das curvas índices de sítio, os dados amostrados de altura e de idade das árvores dominantes, levantados em 80 unidades amostrais de parcelas temporárias e na ANATRO (índices de sítio de 10, 12, 14, 16, 18 e 20).

Dupuy et al. (1999), ao estudar o crescimento da teca na Costa do Marfim, África, encontraram para três classes de fertilidade do solo: 1) boa, 3) média e 5) ruim, aos dez anos de idade, alturas dominantes iguais a 20 m na classe 1, 16 m na classe 3 e 11 m na classe 5. Esses valores demonstram que o crescimento da teca em Mato Grosso é ligeiramente maior quando observadas as amplitudes de valores de crescimento das seis classes de sítio estabelecidas no estudo de Drescher (2004). Já Keogh (1995) definiu cinco classes de sítio para o Caribe, América Central, Colômbia e Venezuela. Chaves et al. (2016) estabeleceram três classes de sítio no município de Indiavaí, MT.

Na Colômbia, Chaves e Fonseca (1991) definiram três classes de sítio e encontraram alturas dominantes, aos dez anos de idade, com valores de 19,5 m, 18,0 m e 16,5 m. Esses valores, quando comparados com o crescimento encontrado por Drescher (2004) e por Chaves et al. (2016), são equivalentes aos dos índices de sítio 20, 18 e 16.

Phillips (1995), para Sri Lanka, determinou valores de índices de sítio de 8, 12, 16, 20 e 24. As alturas dominantes foram de 4 m, 7 m, 10 m, 14 m e 16 m, respectivamente. Esses crescimentos, quando comparados com aqueles de Drescher (2004), ficam enquadrados nos mais baixos índices de sítio para Mato Grosso.

Entretanto, quando se compara o crescimento da teca no Mato Grosso com aquele da Índia, percebe-se que eles são bem diferentes. Na Índia, segundo Kadambi (1993) e Jha (1999), aos 20 anos de idade, a teca atinge 20 m de altura total nos melhores sítios, 8 m nos médios e 2 m nos piores. Esses valores são bastante inferiores aos encontrados por Drescher (2004)

e por Chaves et al. (2016). Assim, pode-se afirmar, seguramente, que o crescimento da teca em seu habitat natural, nos melhores sítios, é comparado com o crescimento da teca nos piores sítios em Mato Grosso. Esse aspecto comprova que as características edafoclimáticas de Mato Grosso possuem potencial produtivo para o desenvolvimento desta cultura.

Produção e prognose de teca

Segundo Michaelis (2020), o termo produção é originário do latim productio.onis, ação ou efeito de produzir e pode ser definido como o primeiro estágio de uma série de processos, etapas pelas quais passa um produto ou serviço até ser disponibilizado ao consumo. Como exemplo, tem-se a produção de teca em Mato Grosso. Já o termo prognose vem do grego prógnósis.eós, definido como suposição que, baseada em eventos atuais, traça uma previsão sobre o que deverá acontecer; conjectura ou prognóstico (Michaelis, 2020).

O ordenamento florestal foi entendido, conforme Burger (1980), como uma discussão nova no Brasil, naquela época. De acordo com o referido autor, em 1980, as empresas florestais já estavam preocupadas com o planejamento da produção, por várias razões: a matéria-prima de origem nativa já não era mais abundante e os custos da terra e da mão de obra estavam subindo, com plantios entrando na fase dos desbastes. Assim, as empresas florestais estavam sendo forçadas a definir seus objetivos, a manejar os povoamentos de maneira eficiente e a cumprir os seus objetivos da melhor forma possível. Isso, como que previsto por Burger (1980), é a realidade de algumas empresas florestais que, no afã de alimentar o seu parque industrial, plantaram teca sem as devidas preocupações, visando obter madeira de teca em curta rotação.

Deve-se salientar que a teca, assim como outras espécies florestais introduzidas, é responsável por aliviar a pressão nas florestas nativas, que ainda resistem às investidas de alguns pecuaristas, agricultores e dos madeireiros irresponsáveis. Entretanto, é crescente o número de madeireiros responsáveis e visionários que seguem a trilha aberta por Luis Veit, em Cáceres, MT e investem na teca como cultura florestal. Os povoamentos são implantados, na sua maioria, em sistemas de mosaico, mesclados com florestas nativas e pastagens, como forma de manter o equilíbrio.

No entanto, mesmo possibilitando perspectivas de “segurança e elevada rentabilidade”, como asseguram alguns investidores, cabe salientar que o lucro advindo de plantios de teca só será garantido se houver os devidos cuidados com os manejos necessários ao

desenvolvimento dessa espécie e com o padrão de qualidade mínimo exigido pelo mercado. Não basta apenas plantar a teca, esperar que o "ouro verde" cresça e possa ser cortado. É necessário o planejamento da utilização desta espécie florestal, que só será eficiente e obterá êxito se for fundamentado em dados coletados, manipulados e analisados dentro de padrões técnicos, que possam garantir uma decisão adequada e racional.

Vendruscolo et al. (2019) estudaram o crescimento em altura de teca em seis municípios de Mato Grosso e, dentre as equações testadas, aquela de Weibull teve pequena superioridade em relação às demais. Eles verificaram que a equação de Weibull apresentou uma melhor estabilidade e, ou tendência na distribuição dos seus resíduos e foi utilizada para modelar o crescimento dos povoamentos, nos diferentes locais do estudo. As curvas de crescimento em altura dominante, foram obtidas por meio dessa equação para os seis povoamentos. Observa-se a não linearidade nas tendências de crescimento em altura dominante, nos diferentes povoamentos estudados.

Para estimar a produção futura, Vendruscolo et al. (2019) utilizaram as equações de Clutter (Equações 6 e 7). Eles verificaram que os povoamentos analisados alcançaram taxas de crescimento elevadas, quando comparadas àquelas da maioria dos povoamentos de teca em Mato Grosso e no mundo. Porém, foram inferiores àquelas com maiores produtividades registradas nas Américas, inclusive no Brasil.

$$\mathrm{Ln(G2)} = \ln(\mathrm{G1}).\frac{\mathrm{I1}}{\mathrm{I2}} - 103588.\left(1 - \frac{\mathrm{I1}}{\mathrm{I2}}\right) + 0{,}6534.\left(1 - \frac{\mathrm{I1}}{\mathrm{I2}}\right).\mathrm{S1} \qquad 6$$

$$\mathrm{Ln(V2)} = 2{,}2037 \pm 2{,}5405.\left(\frac{1}{\mathrm{I2}}\right) + 0{,}0024.\mathrm{S1} + 1{,}0356.\ln(\mathrm{G2}) \qquad 7$$

Por meio da análise das curvas de crescimento em altura dominante de Vendruscolo et al. (2019), observa-se que existem particularidades em relação às tendências de crescimento dos povoamentos, nos diferentes locais. Esses resultados de crescimento obtidos em povoamentos de teca em seis localidades de Mato Grosso indicam que a cultura atende às expectativas de produção elevada em várias regiões do estado (Vendruscolo et al., 2019). Essa tendência foi também encontrada nas avaliações de povoamentos de teca em Nossa Senhora do Livramento, MT (Pelissari et al., 2013), em Santo Antônio do Leverger, MT e Brasnorte, MT (Drescher et al., 2016) e, também, em Indiavaí, MT (Chaves et al., 2016). Esses pesquisadores apontam que os povoamentos de teca em Mato Grosso apresentam desenvolvimento, na maioria das vezes, superiores ao de outros países sul-americanos.

Ainda, uma alternativa para a quantificação do potencial produtivo é a utilização do índice local, por meio de curvas de sítio, que são usualmente empregadas para embasar a escolha dos locais de plantios dos empreendimentos com teca (Chaves et al., 2016; Drescher et al., 2016; Silva et al., 2016; Ziech et al., 2016). A vantagem dessa técnica é que podem ser geradas diferentes classes de produtividade para um mesmo local.

Dentre os produtos oriundos dos povoamentos de teca, são citados: toras inteiras e toras seccionadas em sortimentos, além de blocos serrados (Figuras 9 e 10).

Para o cultivo da teca, a escolha do local é uma decisão fundamental para os interessados que queiram investir nessa cultura. Isto se dá pelas variações de crescimento que ocorrem entre os locais de plantios, proporcionando, assim, respostas diferentes entre os materiais genéticos, resultado da interação genótipos por ambientes.

No entanto, tendo informações do potencial produtivo dos diferentes locais, novos investimentos poderão ser norteados com base nas regiões com maior potencial produtivo e com condições climáticas e edáficas mais favoráveis ao cultivo da teca.



Figura 9. Colheita de teca no estado de Mato Grosso.



Fotos: Maurel Behling

Figura 10. Produtos serrados de madeira de teca destinados à exportação em Mato Grosso.

Considerações finais

A teca é uma das espécies mais plantadas no Brasil e com um potencial madeireiro formidável. Seus plantios no Brasil, principalmente em Mato Grosso, têm se mostrado atrativos e impulsionados com vultuosos investimentos. Os retornos desses investimentos são esperados antes de sua idade de rotação. Observa-se que a teca ainda está no processo de adaptação às condições climáticas e edáficas do País. Possui um crescimento rápido e irregular. Porém, mesmo assim, ele é superior a de outros países das Américas.

A cultura da teca necessita de incentivos e fomentos por parte dos governos, em âmbitos nacional, estadual e municipal. O fomento se faz necessário, principalmente, aos pequenos produtores, como alternativa de renda, no médio e longo prazo. O cultivo da teca necessita de cuidados técnicos como qualquer outra cultura. Os avanços nas pesquisas, práticas silviculturais e, sobretudo, no manejo dos povoamentos florestais da teca comprovam o futuro desta espécie no País.

Referências

ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L. f.) en suelos ácidos de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 28, n. 1, p. 89-100, 2004.

ARAÚJO, H. X. D. E. **Crescimento e produção de um plantio de *Tectona grandis*, submetido a desbaste no município de Iracema-RR**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR.

BANIJBTHANA, D. Teak forest of Thailand. **Tropical Silviculture**, v. 13, n. 2, p. 193-205, 1957.

BASHA, S. C.; MOHANAN, C. F.; SANKAR, S. **Teak**. Kerala, Índia: International Book Distributors, 1991. 274 p.

BEHAGHEL, I. Etat des plantations de teck (*Tectona grandis* L. f.) dans le monde. **Revue Bois et Forêts dês Tropiques**, v. 262, n. 4, p. 6-18, 1999.

BEHLING, M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; KISHIMOTO, C. B.; SMIT, L. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 837-846, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500008.

BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BHAT, K. M. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Índia plantations. **Revue Bois et Forêts dês Tropiques**, v. 263, n. 1, p. 6-16, 2000.

BRISCOE, C. **Perspectivas personales para plantaciones**: programa del Silvicultura. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1995. 7 p.

BURGER, D. **Ordenamento florestal I**: a produção florestal. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres, 2006. 32 p. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

CÁCERES FLORESTAL. **O florestamento da teca**: orientação na produção das mudas, no seu plantio e condução do florestamento. Cáceres, 1997. 4 p.

CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 223-228, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000200005.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2017. 635 p.

CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L. f.) - Verbenaceae**. 1991. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p. 10-12, 1997.

CHAVES, A. G. S.; DRESCHER, R.; CALDEIRA, S. F.; MARTINEZ, D. T.; VENDRUSCOLO, D. G. S. Capacidade produtiva de *Tectona grandis* L. f no Sudoeste de Mato Grosso. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 104, p. 415-424, 2016. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.14.

CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* Linn. f. até a idade de rotação**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis* L. f.) árbol de uso múltiple em América Central**. Turrialba: CATIE, 1991. 47 p. (CATIE. Série técnica: Informe técnico, 179).

CHATURVEDI, A. N. The viability of commercial teak plantation projects. **The Indian Forester**, v. 121, n. 6, p. 563-565, 1995.

CONCEIÇÃO, F. X.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; FAVALESSA, C. M. C.; ROQUETTE, J. G. Capacidade produtiva local de *Tectona grandis* em Monte Dourado, estado do Pará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 822-827, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000011.

DOMINGOS JÚNIOR, F. A.; COELHO, L. Effect of brachiaria grass on vegetative development of teak. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 1-6, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.012615.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn. f., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso**. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

DRESCHER, R.; NUNES, G. M.; MARTINEZ, D. T.; PELISSARI, A. L. Capacidade produtiva do sítio em povoamentos jovens de *Tectona grandis* L. f. de duas regiões do estado de Mato Grosso – Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 2, p. 233-242, 2016. Disponível em: http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/138. Acesso em: 25 mai. 2021.

DRESCHER, R.; SCHEEREN, L. W.; MEDEIROS, J. G. S.; BERTAZO, J. **Modelos de relação hipsométricas para *Tectona grandis* L. f. no Estado do Mato Grosso**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001, Santa Maria, RS. Anais [...]. Santa Maria, RS: UFSM, 2001. v. 1, p. 44-61.

DUPUY, B.; MAITRE, H.; KANGA, A. N. Table de production du teck (*Tectona grandis*): L'exemple de la Côte d'Ivoire. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, v. 3, n. 216, p. 5-16, 1999.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. **Cultura da teca**. Piracicaba, 1970. 5 p.

FAVARE, L. G. de. **Adubação fosfatada e potássica em teca sob condições de campo**. 2013. 63 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Ásia Pacific regional granding rules for teak-logs**. Bangkok: Asia-Pacific Forestry Commission, 1959. 52 p.

FINGER, Z.; FINGER, F. A.; DRESCHER, R. Fatores geográficos, geológicos, edáficos e climáticos limitantes da distribuição natural da teca (*Tectona grandis* L. f.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001, Santa Maria, RS. **Anais** [...]. Santa Maria, RS: UFSM, 2001a. v. 1, p. 154-169.

FINGER, Z.; FINGER, F. A.; DRESCHER, R. Teca (*Tectona grandis* L. f.) plante esta ideia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001, Santa Maria, RS. **Anais** [...]. Santa Maria, RS: UFSM, 2001b. v. 1, p. 170-178.

FORRESTER, D. I.; MEDHURST, J. L.; WOOD, M.; BEADLE, C. L.; VALENCIA, J. C. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on transpiration, photosynthesis, and water-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 266, n. 6, p. 256-300, 2012. DOI:10.1139/x11-146.

FORRESTER, D. I.; MEDHURST, J. L.; WOOD, M.; BEADLE, C. L.; VALENCIA, J. C. Growth, and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: an Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1819-1835, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.029.

FORRESTER, D.; WIEDEMANN, J.; FORRESTER, R.; BAKER, T. Effects of planting density and site quality on mean tree size and total stand growth of *Eucalyptus globulus* plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 43, n. 9, p. 846-851, 2013. DOI: https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0137.

GARCIA, M. L. **Intensidade de desbaste em um povoamento de *Tectona grandis* L. f., no município de Sinop-MT**. 2006. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

GEORGE, M. P. Teak plantation of Kerala. **The Indian Forester**, v. 36, n. 4, p. 646-656, 1961.

HIGUCHI, N.; SILVA, V. S. M. **Informações básicas para o manejo florestal da *Tectona grandis* L. f. introduzida no Alto Jauru**. Cuiabá: UFMT/DEF,1979. 92 p. (mimeografado).

HTWE, U. M. M. Teak plantations in Myanmar. In: REGIONAL SEMINAR ON SITE, TECHNOLOGY, AND PRODUCTIVITY OF TEAK PLANTATIONS, 1999, Thailand. **Anais** [...]. Thailand: Teaknet/FAO, 1999. p. 25-29.

JHA, K.K. **Teak (*Tectona grandis*) farming**. Uttar Pradesh: International Book Distributing Co., 1999. 125 p.

KADAMBI, K. **Silviculture & management of teak**. Dehra Dun, India: Natraj Publishers, 1993. 137 p.

KEOGH, R. **Teak 2000**: a consortium support model for greatly increasing the contribution of tropical hardwood plantations to sustainable development. Amsterdam: IIED-Edited Draft, 1995. 27 p. (IIED-Edited Draft. Forestry and land use series, 8).

KEOGH, R. The world of teak plantations. **International Forestry Review**, v. 2, n. 2, p. 123-125, 2000.

KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasylva**, v. 51, n. 201, p. 14-21, 2000.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006.

MAI, C. Site, technology, and productivity of teck plantations. **Revue Bois et Forêts dês Tropiques**, n. 261, p. 70-79, 1999.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Agricultura e Assuntos Fundiários. **Diretrizes técnicas para implantação de reflorestamento no Estado de Mato Grosso, teca – *Tectona grandis* Linn f**. Cuiabá, 2001. 15 p.

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivada na grande Cáceres - Mato Grosso**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

MEDEIROS, L. J. O.; MEDEIROS, R. A.; DOMICIANO, C. A. R.; MARTINS, P. E. B.; CORREA, H. C. R.; FLORENTIM, E. T. S.; SERAFIM, M. E. Brachiaria substrate and subsoil for the production of teak seedlings. In: CONGRESSO MUNDIAL DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 2018, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, RJ: SBCS, 2018a. p. 402-403.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; D´ÁVILA; LEITE, H. G. Growth and yield of teak stands at different spacing. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1109-1118, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001000004.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; SALLES, T. T.; ARAÚJO, C. A. J. R.; DÁVILA, F. S. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 705-716, 2017a. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v45n116.11.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; MARCATTI, G. ***Tectona grandis***: zoneamento ecológico para o cultivo no estado de Mato Grosso, Brasil. Beau Bassin, Mauritius: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 84 p.

MEDEIROS, R. A. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no Estado de Mato Grosso**. 182 f. 2016. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MICHAELIS moderno dicionário da língua portuguesa. São Paulo, SP: Melhoramentos, [s.d.]. Disponível em: http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php. Acesso em: 27 out. 2020.

MELLO, H. A. Alguns aspectos da introdução da teca no Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 15, p. 113-119, 1963.

MORETTI, M. S.; TSUKAMOTO FILHO, A. de A.; COSTA, R. B. da; RONDON NETO, R. M.; MEDEIROS, R. A.; SOUZA, R. A. T. de M. Crescimento inicial de plantas de teca em monocultivo e sistema Taungya com milho em Figueirópolis D'Oeste, Estado de Mato Grosso. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 269-277, 2014.

OLIVEIRA, J. R. V. de. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca**. 76 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto**: implantação e manejo. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.

PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de *Eucalyptus*. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 83-112.

PANDEY, D. **Estimating productivity of tropical forest plantations by climatic factors**. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management and Geomatics, 1996. 82 p. (Swedish University of Agricultural Sciences. Report, 7).

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

PELISSARI, A. L., CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento quantitativo e qualitativo de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 371-383, 2013. DOI: https://doi.org/10.4322/floram.2013.027.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. dos; SANTOS, J. O. P. dos. Correlação espacial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 247-256, 2012. DOI: https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.247.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. dos. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014a. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201420031437.

PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 127-145, 2014b. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2014_011.

PELISSARI, A. L. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L. f. na região Sul do estado de Mato Grosso**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

PHILLIPS, G. B. Grouth functions for teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in Sri Lanka commonwealth. **Foresty Review,** v. 74, n. 4 p. 361-375, 1995.

PONTES, M. da S. **Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L. f.) e dos Sistemas Ferti-UFV e Nutri-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSAS, M. P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla***. 1994. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAMPAIO, A. J. Teca da Índia e a do Brasil. **Revista Florestal**, v. 1, n. 9, p. 7-10, 1930.

SCHMINCKE, K. H. Plantaciones de teca en Costa Rica: la experiência de la empresa Precious Woods. **Unasylva**, v. 51, n. 201, p. 29-37, 2000.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal**: planejamento da produção florestal. Santa Maria, RS: UFSM/ CEPEF-FATEC, 2002. 195 p.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952. 476 p.

SCHUSTER, E.M. **Planejamento experimental da primeira intervenção de desbaste em teca (*Tectona grandis* L. f.) em plantio com cinco anos de idade, no Município de Santo Antônio do Leverger - MT**. 1999. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SELLE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SILVA, R. S. da; VENDRUSCOLO, D. G. S.; ROCHA, J. R. M. da; CHAVES, A. G. S.; SOUZA, H. S.; MOTTA, A. S. da. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 397-405, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.143015.

TEWARI, D. N. **Monograph on Teak (*Tectona grandis* Linn. f.)**. Dehra Dun, India: International Book Distributors, 1999. 478 p.

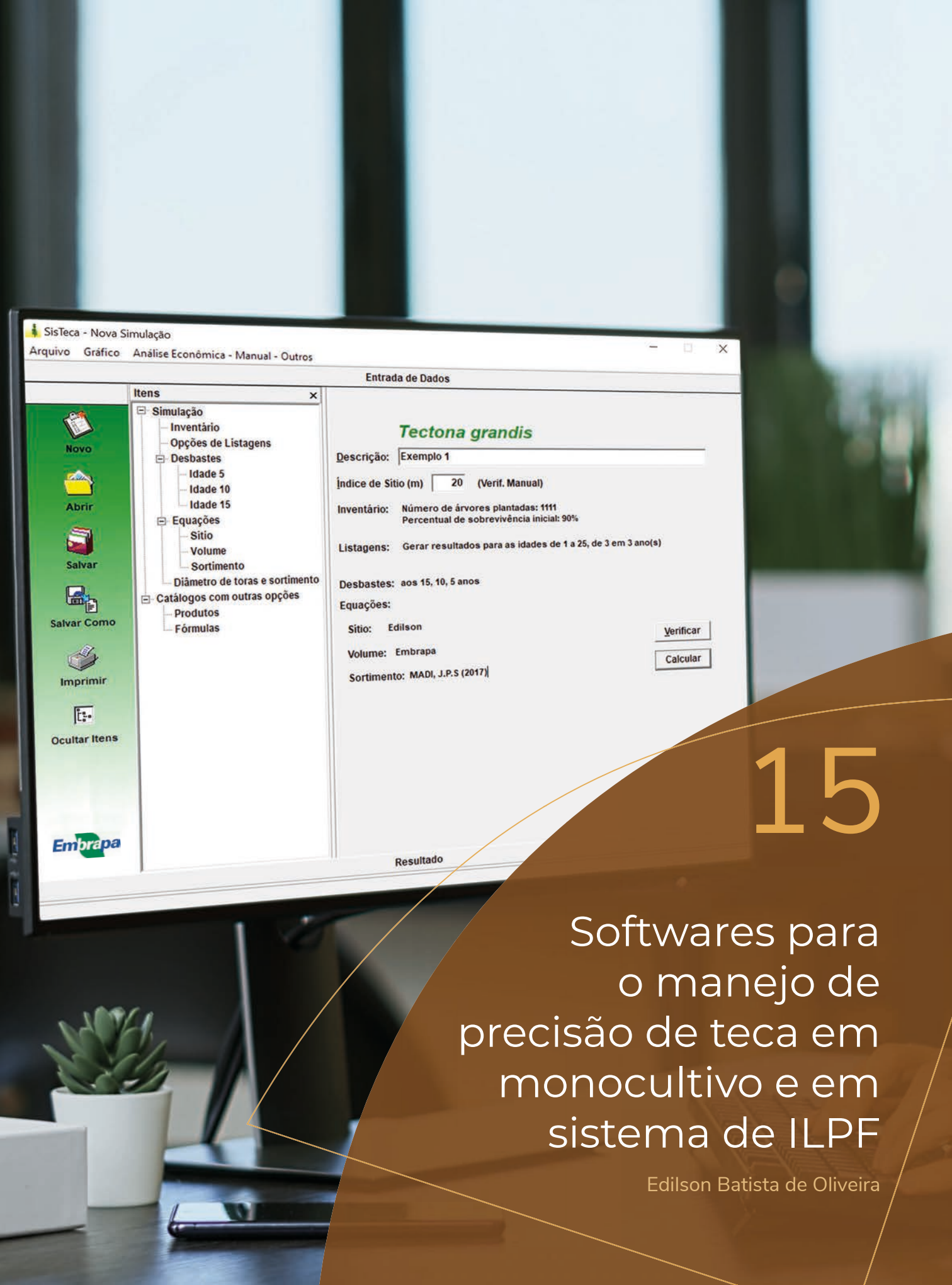
VEIT, L. F. Dinheiro não cresce em árvore. **Silvicultura**, n. 83, p. 38-39, 2000.

VEIT, L. F. Teca, a substituta natural das madeiras nobres. **Revista da Madeira**, v. 2, n. 6, p. 18-20, 1993.

VENDRUSCOLO, D. G. S; DRESCHER, R.; CARVALHO, S. P. C.; MEDEIROS, R. A.; MÔRA, R.; SOARES, A. A. V. Dominant height growth in *Tectona grandis* plantations in Mato Grosso, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, e20170703, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.070317.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; LOCATELLI, M. **Influência da desrama artificial sobre o crescimento da teca (*Tectona grandis*) no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2010. 4 p (Embrapa Rondônia. Circular técnica,114). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47490/1/ct114-teca.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

ZIECH, B. G.; MORAES E SILVA, V. S.; DRESCHER, R.; VENDRUSCOLO, D. G. S. Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para teca em Glória D'Oeste-MT. **Revista Brasileira de Biometria** v. 34, n. 4, p. 533-542, 2016. Disponível em: http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/273. Acesso em: 25 maio 2021.



15

Softwares para o manejo de precisão de teca em monocultivo e em sistema de ILPF

Edilson Batista de Oliveira

Introdução

Neste capítulo são apresentados dois softwares de simulação desenvolvidos pela Embrapa Florestas, para dar suporte às atividades de manejo e de planejamento da produção de plantações de teca (*Tectona grandis* L. f.). O primeiro é o SisTeca®. Lançado por Oliveira (2007), esse programa computacional possibilita estimar o crescimento e a produção madeireira das plantações de teca, para diferentes condições de clima e de solo, em função dos regimes de manejo que o próprio usuário indica. O segundo é o SisILPF_Teca®, com funções semelhantes ao SisTeca®, mas destinado aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Os dois foram programados na linguagem Delphi e podem ser baixados gratuitamente pelo link: https://www.cnpf.embrapa.br/software/.

Ambos os softwares quantificam a madeira produzida em cada idade, por tipo de utilização industrial, por meio do sortimento da produção para diversas dimensões de toras pré-estabelecidas. Eles possibilitam a obtenção de prognoses de produção presente e futura, cujo impacto econômico pode ser verificado por meio de um software de análise econômica, instalado conjuntamente, o Planin® apresentado em outro capítulo do presente livro. Os resultados gerados por meio desses softwares darão subsídios para o produtor rural aplicar, em sua plantação, a melhor alternativa de manejo, com objetivos previamente avaliados para serem atingidos. Desta forma, a floresta poderá ser manejada para a produção de madeira direcionada ao uso que melhor se adeque aos objetivos do produtor.

Esses softwares estimam também o carbono capturado pelas árvores, apresentando o equivalente em CO_2. O SisILPF_Teca® calcula, também, o equivalente em metano e gera gráficos com estimativas do número de animais por hectare que podem ter a emissão de metano compensada pelas árvores do sistema de ILPF considerado.

Com os resultados das simulações do crescimento e da produção de sua floresta, o produtor rural passa a contar com suporte de tecnologias adequadas para um manejo e planejamento florestal de precisão, com informações visando otimizar a produção e aumentar a sua renda.

Diferentes regimes de manejo podem ser simulados, com vários desbastes, ao longo do ciclo de cultivo. Os tipos de desbaste contemplados são:

a) Sistemático: quando se cortam as árvores a partir de um esquema fixo de escolha, por exemplo, a cada cinco fileiras de árvores, corta-se toda uma fileira, deixando quatro sem cortar, em função da disposição das árvores no povoamento. Este tipo de

desbaste pode contemplar a remoção de árvores, de forma a manter uma distribuição espacial das copas, para melhor aproveitamento dos recursos do sítio, em especial a luz, evitando espaços vazios;

b) Seletivo: basicamente são cortadas as árvores de menor porte (seletivo por baixo) do povoamento. Neste tipo de desbaste, tanto a variável diâmetro quanto a altura devem ser levadas em conta na escolha das árvores a serem cortadas e,

c) Misto: em que se processa primeiro o desbaste sistemático e, em seguida, nas linhas remanescentes, o seletivo.

Descrição do SisTeca®

A tela que centraliza todas as informações do SisTeca® está apresentada na Figura 1. Ela indica os ícones para o acesso às informações necessárias ao processamento, com acesso a todas as telas de entradas de dados.

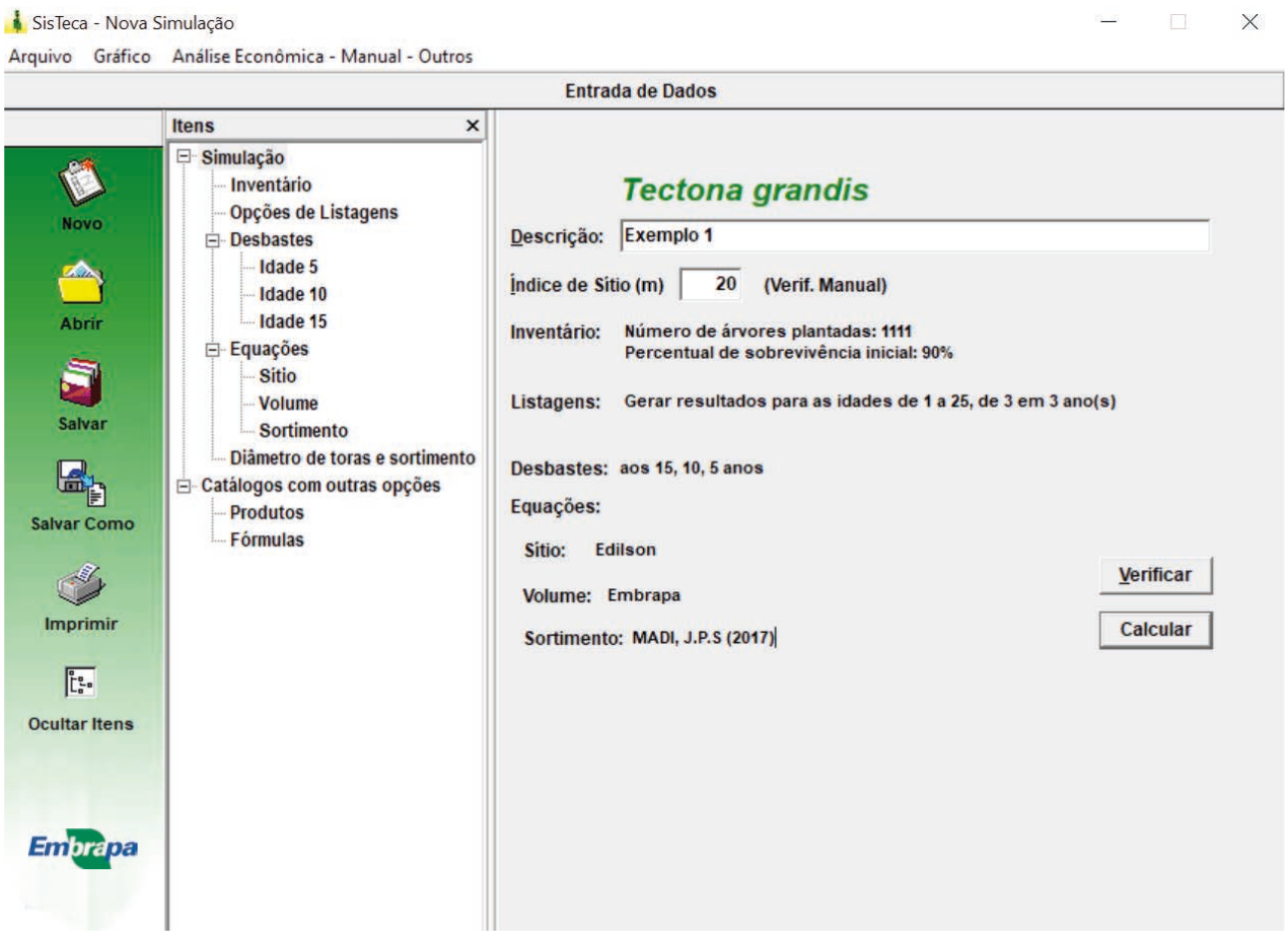


Figura 1. Tela com o menu inicial do software SisTeca®.

A barra de botões, situada na posição superior esquerda da tela, possui os comandos do menu e agiliza a realização das tarefas mais frequentes. As faixas da parte superior e inferior da tela permitem a troca rápida entre os contextos “Entrada de Dados” e “Resultado".

Esta tela dá acesso às telas de “Inventário”, “Opções de Listagens” e informações sobre “Desbastes”. Nela deverá ser informado o “Índice de sítio”. Nesta mesma tela estão também os acessos para os três módulos de Equações: “Sítio”, “Volume” e “Sortimento”. No software constam estas equações com representatividade para as médias das regiões produtoras. Entretanto, todas podem ser substituídas pelo próprio usuário, por outras que melhor representem o seu plantio. O software possui um “Catálogo” com alguns modelos, e pode ser ampliado com o uso de outros modelos informados ou definidos pelo usuário, que ficarão gravados e disponíveis para o acesso de forma rápida.

Os itens “Equações” e “Índice de sítio” são as bases permitindo que o software seja aplicável aos locais com diferentes potenciais de produção. Por ser um pouco complexo para os usuários com pouca experiência em engenharia florestal, será fornecida adiante uma breve explicação sobre o funcionamento destes itens.

Uma equação de sítio descreve como as características de um determinado local ou sítio (solo e clima) afetam o crescimento das árvores. Ela descreve o crescimento da altura dominante em diferentes qualidades de sítio. A altura dominante pode ser definida como a altura média das cem árvores com o maior diâmetro presentes em um hectare. A variação que ela sofre com a alteração da densidade do povoamento é pequena e, especialmente, por apresentar esse comportamento é que ela é usada. A equação de sítio possibilita calcular a altura dominante das árvores em função da idade da plantação. Isto permite a criação de gráficos e tabelas de classificação de sítio (Tabela 1) que facilitam o cálculo do índice de sítio.

Índice de sítio é o valor da altura dominante em determinada idade (idade índice). Ele mede o potencial de produtividade do sítio, a partir de um inventário de altura dominante em qualquer idade. É o primeiro valor a ser informado no SisTeca®. A Tabela 1 apresenta valores, respectivamente, de índices de sítio, dados pela altura dominante, em uma idade índice fixada (exemplo aos 15 anos).

Para que a equação de sítio estime as alturas em cada idade, em função do índice de sítio em uma idade índice, a partir do modelo original, ela deverá sofrer uma conversão, conforme o exemplo a seguir:

$H = b_0 * exp(b_1 * (1/Idade^{b2}))$ logo:

$b_0 = H * exp(b_1 * (-1/Idade^{b2}))$

Considerando "S" como índice de sítio com idade índice de 15 anos, isolando-se b_0 e substituindo este coeficiente no modelo original, tem-se:

$H = S * exp((b_1 * (-1/15^{b2})) * exp(b_1 * (1/Idade^{b2})))$ ou

$H = S * exp(b_1 * (Idade^{-b2} - 15^{-b2}))$

O formato da equação a ser inserida no software é:

$S * exp(b_1 * (a\text{^}-b_2 - 15\text{^}-b_2))$ onde "a" é a idade.

Tabela 1. Tabela de classificação de sítio para teca.

Idade	Índice de Sítio																				
	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0
4	5,8	6,0	6,2	6,5	6,7	7,0	7,2	7,4	7,7	7,9	8,2	8,4	8,6	8,9	9,1	9,4	9,6	9,9	10,1	10,3	10,6
5	6,8	7,1	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,4
6	7,6	8,0	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	13,1	13,4	13,7	14,0
7	8,4	8,7	9,1	9,4	9,8	10,1	10,5	10,8	11,2	11,5	11,9	12,2	12,6	12,9	13,3	13,6	14,0	14,3	14,7	15,0	15,4
8	9,0	9,4	9,8	10,1	10,5	10,9	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	13,5	13,9	14,3	14,7	15,0	15,4	15,8	16,2	16,5
9	9,6	10,0	10,4	10,8	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	16,0	16,4	16,8	17,2	17,6
10	10,1	10,5	10,9	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,5	13,9	14,3	14,7	15,1	15,6	16,0	16,4	16,8	17,2	17,7	18,1	18,5
11	10,5	11,0	11,4	11,9	12,3	12,7	13,2	13,6	14,1	14,5	14,9	15,4	15,8	16,3	16,7	17,1	17,6	18,0	18,5	18,9	19,3
12	11,0	11,4	11,9	12,3	12,8	13,2	13,7	14,2	14,6	15,1	15,5	16,0	16,4	16,9	17,4	17,8	18,3	18,7	19,2	19,6	20,1
13	11,3	11,8	12,3	12,8	13,2	13,7	14,2	14,6	15,1	15,6	16,1	16,5	17,0	17,5	17,9	18,4	18,9	19,4	19,8	20,3	20,8
14	11,7	12,2	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,1	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,4	20,9	21,4
15	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0
16	12,3	12,8	13,3	13,8	14,3	14,9	15,4	15,9	16,4	16,9	17,4	17,9	18,4	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5
17	12,6	13,1	13,6	14,1	14,7	15,2	15,7	16,2	16,8	17,3	17,8	18,3	18,9	19,4	19,9	20,4	20,9	21,5	22,0	22,5	23,0
18	12,8	13,4	13,9	14,4	15,0	15,5	16,0	16,6	17,1	17,6	18,2	18,7	19,2	19,8	20,3	20,8	21,4	21,9	22,4	23,0	23,5
19	13,1	13,6	14,2	14,7	15,2	15,8	16,3	16,9	17,4	18,0	18,5	19,1	19,6	20,1	20,7	21,2	21,8	22,3	22,9	23,4	24,0
20	13,3	13,8	14,4	15,0	15,5	16,1	16,6	17,2	17,7	18,3	18,8	19,4	19,9	20,5	21,0	21,6	22,2	22,7	23,3	23,8	24,4
21	13,5	14,1	14,6	15,2	15,8	16,3	16,9	17,4	18,0	18,6	19,1	19,7	20,3	20,8	21,4	21,9	22,5	23,1	23,6	24,2	24,8
22	13,7	14,3	14,8	15,4	16,0	16,6	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4	20,0	20,6	21,1	21,7	22,3	22,8	23,4	24,0	24,6	25,1

*Altura Dominante = S*EXP(-3,0339*(A^-0,53-15^-0,53)) S = Índice de sítio A = Idade*

O item "Inventário" dará acesso à tela com as opções para informar os dados sobre o povoamento (Figura 2). Neste caso, são três opções de entrada de dados:

a) Número de árvores plantadas por hectare e o percentual de sobrevivência no primeiro ano de vida,

b) Número de árvores por hectare em determinada idade,

c) Número de árvores por hectare e área basal ou diâmetro quadrático médio em determinada idade. Esta terceira opção é a mais completa, resultando em prognoses de maior precisão e acurácia.

Deve ser informado o "nível de homogeneidade do plantio", o qual pode variar de 1 a 10. Este valor pode ser baseado em medidas estatísticas (exemplo: variância e coeficiente de variação) ou alguma medida empírica, como notas de 1 a 10 (Oliveira, 2011).

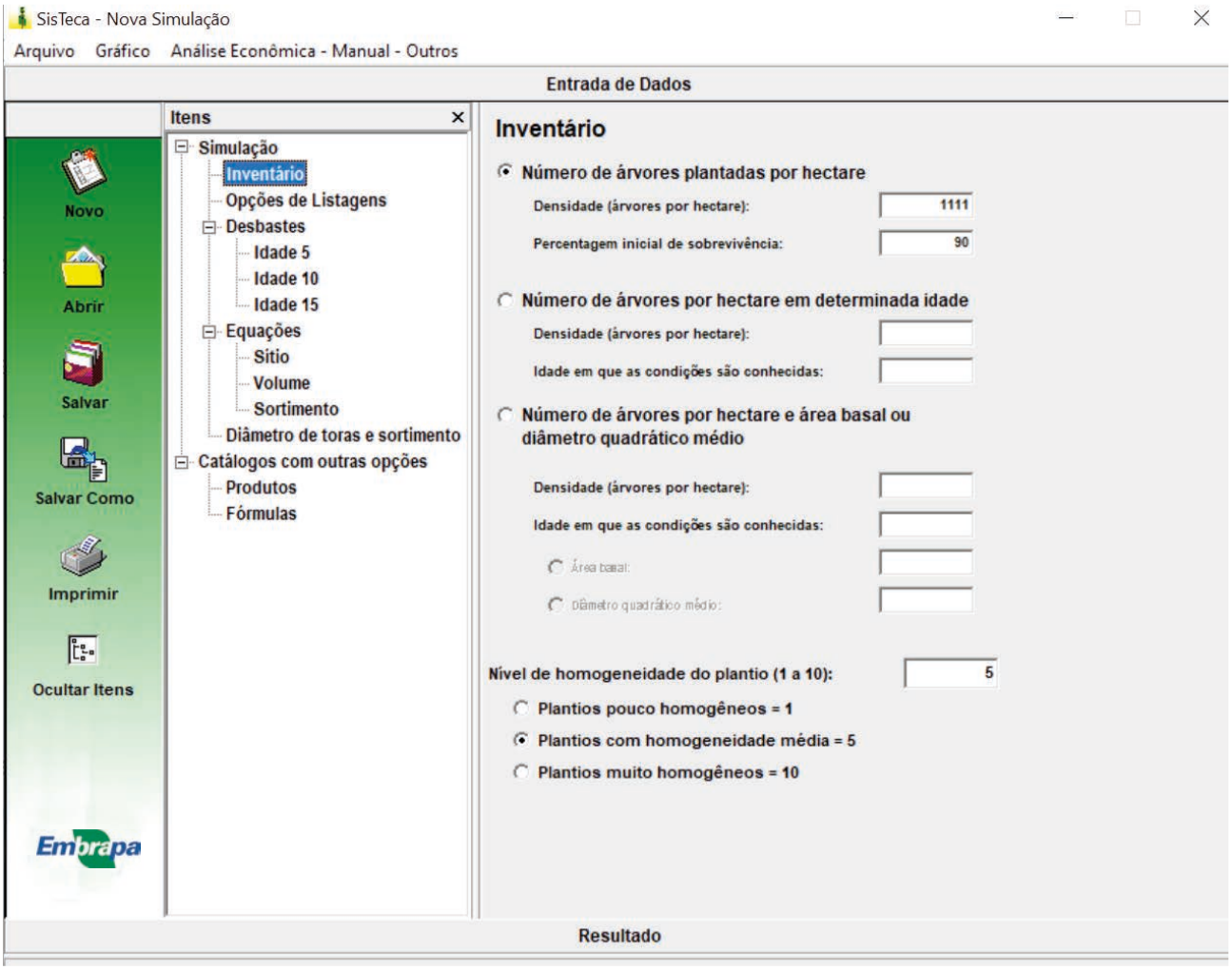


Figura 2. Tela do SisTeca® para a inserção de informações sobre o povoamento a ser avaliado.

Como Exemplo 1, para teca em monocultivo, serão consideradas as telas das Figuras 1 e 2, iniciando a descrição de um povoamento de teca plantado no espaçamento 3 m x 3 m (1.111 árvores ha^{-1}), índice de sítio (altura dominante aos 15 anos) de 20 m,

colheita final aos 25 anos, em duas condições: a) sem desbastes e b) três desbastes seletivos, aos 5, 10 e 15 anos, cada um removendo 1/3 do povoamento. Os sortimentos especificaram toras de 2,5 m de comprimento, com diâmetros acima de 25 cm (serraria 1), 18-25 cm (serraria 2), 8-18 cm (serraria 3) e abaixo de 8 cm (energia). Os dados são informados na tela da Figura 3.

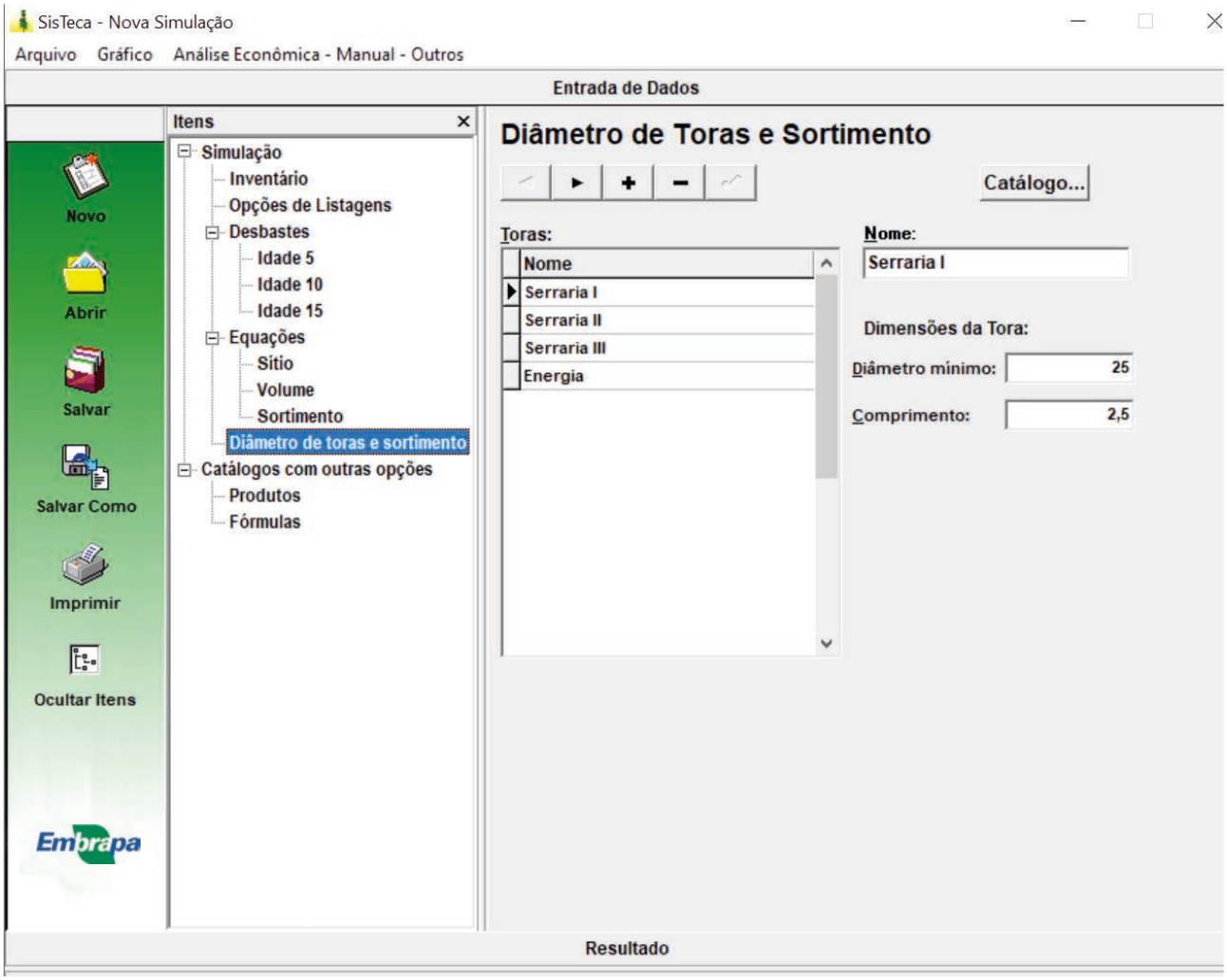
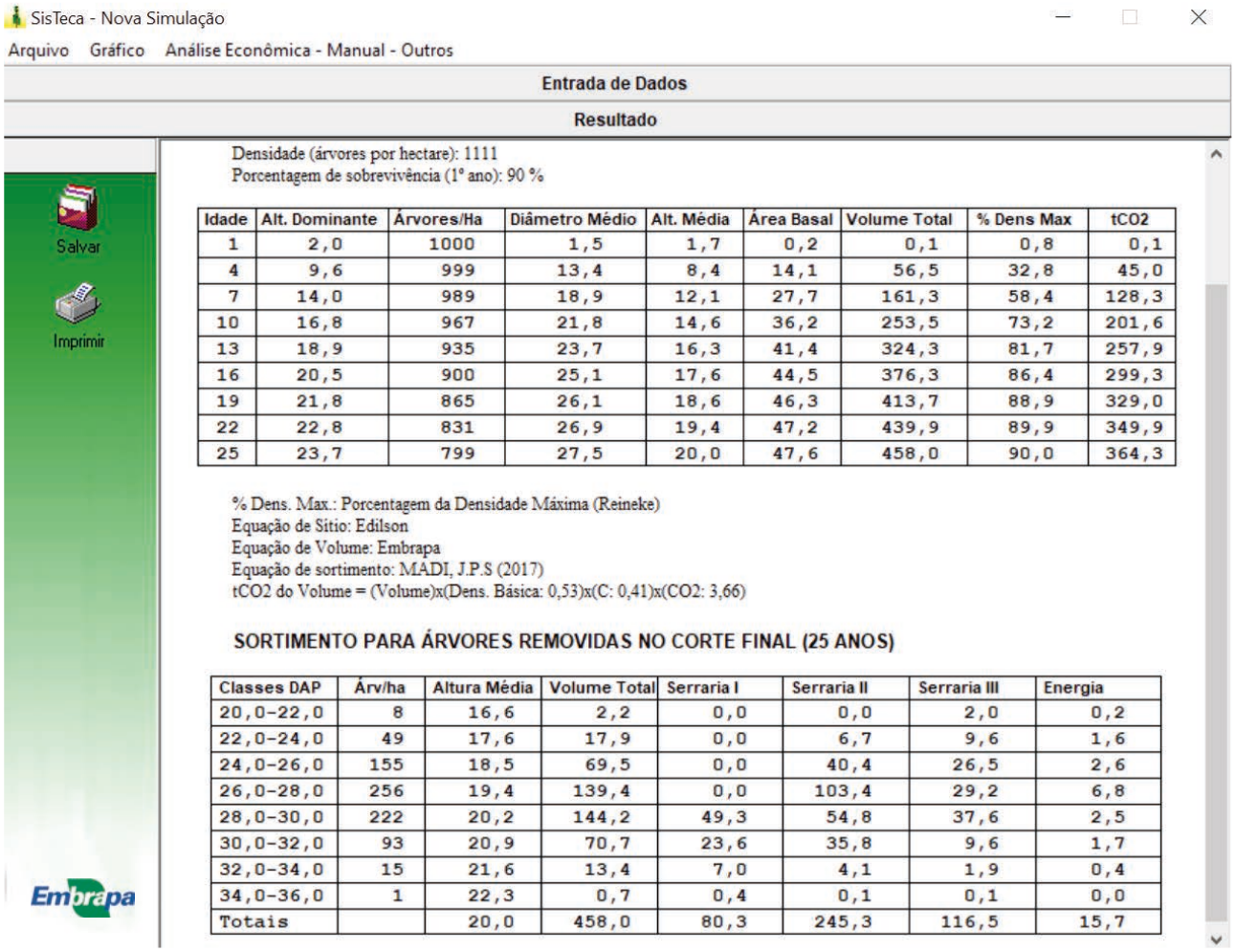


Figura 3. Tela do SisTeca® para inserção de informações sobre dimensões de toras.

Com um clique no botão "Resultado", a tela da Figura 4 mostrará as tabelas de crescimento, de produção e de sortimento de madeira para o Exemplo 1, sem considerar desbastes. O intervalo de idade para a apresentação dos resultados deve ser indicado pelo usuário, sendo de, no mínimo, um ano. Para o Exemplo 1, foram solicitados resultados a cada três anos.



Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	% Dens Max	tCO2
1	2,0	1000	1,5	1,7	0,2	0,1	0,8	0,1
4	9,6	999	13,4	8,4	14,1	56,5	32,8	45,0
7	14,0	989	18,9	12,1	27,7	161,3	58,4	128,3
10	16,8	967	21,8	14,6	36,2	253,5	73,2	201,6
13	18,9	935	23,7	16,3	41,4	324,3	81,7	257,9
16	20,5	900	25,1	17,6	44,5	376,3	86,4	299,3
19	21,8	865	26,1	18,6	46,3	413,7	88,9	329,0
22	22,8	831	26,9	19,4	47,2	439,9	89,9	349,9
25	23,7	799	27,5	20,0	47,6	458,0	90,0	364,3

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Serraria III	Energia
20,0-22,0	8	16,6	2,2	0,0	0,0	2,0	0,2
22,0-24,0	49	17,6	17,9	0,0	6,7	9,6	1,6
24,0-26,0	155	18,5	69,5	0,0	40,4	26,5	2,6
26,0-28,0	256	19,4	139,4	0,0	103,4	29,2	6,8
28,0-30,0	222	20,2	144,2	49,3	54,8	37,6	2,5
30,0-32,0	93	20,9	70,7	23,6	35,8	9,6	1,7
32,0-34,0	15	21,6	13,4	7,0	4,1	1,9	0,4
34,0-36,0	1	22,3	0,7	0,4	0,1	0,1	0,0
Totais		20,0	458,0	80,3	245,3	116,5	15,7

Figura 4. Tela do SisTeca® com resultados de crescimento e de produção para o Exemplo 1, sem desbastes.

Com a realização dos dois desbastes definidos no exemplo, obtêm-se os resultados apresentados na Figura 5.

Na ausência dos desbastes realizados no povoamento descrito no Exemplo 1, obteve-se pelo SisTeca® uma produção total de 458,0 $m^3\ ha^{-1}$, sendo 80,3 $m^3\ ha^{-1}$ de toras com diâmetro acima de 25 cm (Figura 4). O regime de manejo com a aplicação de desbastes apresentou produção total (soma da produção dos desbastes com a produção do corte final) de 466,5 $m^3\ ha^{-1}$, o que representa um pequeno aumento de 5,5 $m^3\ ha^{-1}$ (1,4%) na produção total, em relação ao cenário sem desbaste (Figura 5). Entretanto, a produção de toras com diâmetro acima de 25 cm aumentou 104,0% com a aplicação de desbastes, passando de 80,3 $m^3\ ha^{-1}$ para 163,5 $m^3\ ha^{-1}$.

Caso o objetivo do proprietário seja a produção de toras com maior diâmetro (exemplo: 35 cm para serraria), o software pode avaliar os resultados da condução do povoamento com menos árvores.

Infinitas opções de regime de manejo podem ser simuladas. Entretanto, a definição do regime de manejo ideal deve considerar diversos aspectos silviculturais e econômicos.

O controle de plantas invasoras e a redução do excesso de ramos são medidas que podem ser bem conduzidas, como adequadas práticas de manejo do povoamento.

Estes aspectos, aliados aos objetivos da produção, convergem para a definição dos desbastes ideais (idade, intensidade e tipo), bem como a melhor idade para colheita final, certamente levando em conta a rentabilidade econômica. Assim, o manejo deverá ser direcionado para o aproveitamento máximo da capacidade do sítio, para que as árvores atinjam as dimensões desejadas. Se a densidade do povoamento for muito baixa, as árvores não aproveitarão os recursos disponíveis no local (água, luz, nutrientes, dentre outros) e, portanto, o povoamento não produzirá o máximo possível. Por outro lado, se a densidade do povoamento for muito alta, os recursos não serão suficientes para um bom desenvolvimento das árvores.

A

SisTeca - Nova Simulação

Arquivo Gráfico Análise Econômica - Manual - Outros

Entrada de Dados

Resultado

Salvar

Imprimir

SisTeca

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Tectona grandis

Descrição: Exemplo 1
Índice de Sitio: 20,0
Densidade (árvores por hectare): 1111
Porcentagem de sobrevivência (1° ano): 90 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	% Dens Max	tCO2
1	2,0	1000	1,5	1,7	0,2	0,1	0,8	0,1
4	9,6	999	13,4	8,4	14,1	56,9	32,8	45,2
5	11,3	997	15,7	9,8	19,3	91,5	42,8	72,8

O povoamento foi desbastado pela remoção de 247 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	% Dens Max	tCO2
7	14,0	747	20,3	12,5	24,2	145,8	50,0	116,0
10	16,8	737	23,4	14,8	31,6	226,6	62,7	180,2

O povoamento foi desbastado pela remoção de 237 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	% Dens Max	tCO2
13	18,9	499	26,7	17,2	27,9	231,7	53,2	184,2
15	20,0	499	27,8	18,0	30,3	264,0	57,2	210,0

O povoamento foi desbastado pela remoção de 166 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	% Dens Max	tCO2
16	20,5	333	29,4	20,5	22,6	223,1	41,9	177,5
19	21,8	333	31,0	21,7	25,1	262,8	45,8	209,0
22	22,8	332	32,2	22,6	27,0	294,4	48,9	234,1
25	23,7	331	33,2	22,8	28,6	314,8	51,4	250,4

Embrapa

B

SisTeca - Nova Simulação

Arquivo Gráfico Análise Econômica - Manual - Outros

Entrada de Dados

Resultado

Salvar

Imprimir

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2	Volume Remanescente
5	17,3	13,8	74,2
10	58,5	46,5	168,2
15	75,9	60,4	188,1

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (5 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Serraria III	Energia
10,0-12,0	5	8,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2
12,0-14,0	115	9,3	7,3	0,0	0,0	4,2	3,1
14,0-16,0	114	9,7	8,6	0,0	0,0	4,8	3,8
16,0-18,0	13	9,0	1,2	0,0	0,0	0,7	0,5
Totais		9,4	17,3	0,0	0,0	9,7	7,6

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (10 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Serraria III	Energia
18,0-20,0	17	13,6	3,3	0,0	0,0	3,0	0,4
20,0-22,0	139	14,2	33,1	0,0	0,0	29,1	4,0
22,0-24,0	61	12,3	16,0	0,0	7,6	7,3	1,1
24,0-26,0	18	12,7	5,5	0,0	2,5	2,5	0,4
26,0-28,0	1	13,2	0,5	0,0	0,4	0,1	0,0
Totais		14,0	58,5	0,0	10,5	41,9	6,0

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (15 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Serraria III	Energia
24,0-26,0	48	17,4	20,3	0,0	12,2	6,2	1,8
26,0-28,0	97	17,9	44,9	0,0	34,7	8,6	1,5
28,0-30,0	19	16,3	9,8	0,0	8,0	1,1	0,7
30,0-32,0	2	16,5	1,0	0,4	0,4	0,2	0,0
Totais		17,0	75,9	0,4	55,3	16,2	4,0

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (25 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Serraria III	Energia
30,0-32,0	68	22,1	56,8	18,0	27,9	8,5	2,3
32,0-34,0	181	22,6	169,8	85,4	50,4	31,7	2,3
34,0-36,0	72	22,9	75,9	50,0	17,7	7,1	1,2
36,0-38,0	10	23,1	11,4	9,0	1,1	1,1	0,2
38,0-40,0	1	23,3	0,7	0,6	0,1	0,1	0,0
Totais		22,8	314,8	163,1	97,2	48,4	6,0

Embrapa

Figura 5. Telas do SisTeca® com resultados de crescimento e de produção para o Exemplo 1, com desbastes.

Com isto, os estudos sobre densidade populacional das florestas e sua influência na produtividade e na qualidade da madeira evoluíram bastante e assumiram grande importância para as atividades de manejo. Assim, surgiu o "Diagrama de Manejo da Densidade" (DMD) que permite comparar diferentes alternativas de manejo (desbastes), considerando os diferentes propósitos, tais como a produção de madeira para determinadas dimensões, minimização do tempo requerido para se obter um determinado objetivo específico, entre outros.

Desta forma, um DMD foi elaborado e inserido no SisTeca®. A seguir, serão descritos detalhes de como ele foi construído, sua incorporação no software, bem como detalhes de sua aplicação prática.

Diagrama de Manejo da Densidade no SisTeca®

A densidade de um povoamento florestal é a expressão do grau de aproveitamento do sítio pelas árvores. Ela descreve quanto um sítio está sendo usado pelas árvores e quanto estas estão competindo entre si pelos recursos do sítio (água, luz, nutrientes e espaço). Em altas densidades, a taxa de crescimento de cada árvore diminui pela competição por recursos limitados do sítio. Essa competição pode ser quantificada utilizando variáveis tais como: número de árvores, diâmetro, área basal, volume ou outro critério por unidade de área. Estas variáveis são altamente correlacionadas e suas inter-relações matemáticas possibilitam a geração do DMD.

O DMD é instrumento de grande utilidade para a definição do regime de manejo ideal. Ele possibilita o processamento simultâneo e integrado das variáveis de crescimento e de produção, gerando resultados que permitem o monitoramento da densidade do povoamento, em função do comportamento das árvores. Este monitoramento subsidia a definição de intensidades e de épocas ideais de desbaste, bem como da colheita final, possibilitando a adequação dos níveis de competição em função dos objetivos da produção madeireira, com aproveitamento máximo do potencial do sítio.

A base usada para o DMD é a curva de máxima densidade populacional, que marca os limites da máxima ocupação do sítio pelas árvores. Para a teca, foi utilizado o modelo de Reineke (1933), ainda muito utilizado no setor florestal, apesar de ser bastante antigo. Esta curva é estimada a partir de medições de povoamentos com densidade completa ou completamente estocado. O modelo é:

$$N = Exp(a + b * Ln(Dg)),$$

Onde: N é o número de árvores ha^{-1}, Dg é o diâmetro quadrático médio, a e b são os coeficientes.

O número de árvores obtido pela equação de Reineke é denominado Índice de Densidade da Plantação (IDP). O número de árvores, com base no Dg = 25 cm, equivalente a aproximadamente 10 pol no sistema inglês de medidas, é denominado Índice de Reineke, utilizado para facilitar

a comparação com outros índices. Ele indica quantas árvores o povoamento teria com Dg = 25 cm, para o sítio estar completamente estocado.

A curva de densidade máxima possibilita o início da construção do DMD, a partir de variações dos diâmetros quadráticos de referência. O DMD inclui uma série de curvas para a descrição de níveis de ocupação do sítio, por exemplo, iniciando em 100% de ocupação e baixando a cada 10%. Estas curvas servem de referência para mostrar o nível de densidade de um povoamento, influenciado pela qualidade do sítio, pela idade e pelo número de árvores por hectare, e compará-lo com outros, sob condições resultantes de regimes de manejo que possam ser adotados. Ele permite encontrar a máxima produtividade em área basal e volume de madeira, indicando os momentos de intervenções de desbastes, controlando a mortalidade das árvores e buscando atingir os objetivos da produção.

Há outros modelos de estudo da densidade-diâmetro, com destaque para aqueles de Yoda et al. (1963), Tang et al. (1994) e Zeide (1995). Apesar da grande utilidade de um DMD para o planejamento e manejo florestal, seu uso ainda é pouco disseminado, devido à dificuldade em sua utilização ou, mesmo, por não ter sido elaborado para as espécies e regiões de interesse. Assim, é importante não apenas o desenvolvimento dos diagramas, mas, principalmente, o desenvolvimento de ferramentas computacionais que tornem mais práticas a sua operacionalização.

Neste sentido, o SisTeca® tem integrado um DMD, elaborado com a base de dados que deu origem aos seus algoritmos, juntamente com resultados de simulações de crescimento e produção, utilizando o modelo de Reineke:

$$N = Exp(12{,}4692 - 1{,}7133 * Ln(Dg))$$

O IDP, calculado com Dg = 25 cm, é de 1.050 árvores ha^{-1}, indicando quantas árvores o povoamento teria com este diâmetro, para estar completamente estocado. Este valor está próximo daqueles obtidos por Arias-Aguilar (2004) e Perez e Kanninen (2005), que encontraram, para plantações de teca na Costa Rica, valores de IDP de 1.053 e 1.049, com coeficientes b de -1,7126 e -1,9175, respectivamente. Para plantações de teca na Índia, Kumar et al. (1995) e Jayaraman e Zeide (2007) obtiveram, respectivamente, valores de IDP de 1.200 árvores ha^{-1} e 1.102 árvores ha^{-1}. No México, Minoche et al. (2017) estabeleceram IDP de 1.000 árvores ha^{-1}. No Brasil, Madi et al. (2020) desenvolveram um DMD tendo por base um povoamento clonal comercial de teca no centro-sul do estado de Mato Grosso. Estes autores utilizaram um coeficiente b fixo de -1,605 de Reineke (1933) e estabeleceram um IDP de 1.100 árvores ha^{-1}, baseado na média dos trabalhos de Kumar et al. (1995) e Minoche et al. (2017).

Na Figura 6 é apresentado o DMD resultante do modelo utilizado no SisTeca®. Na Figura 7, a área preenchida com verde mostra uma faixa indicada para o manejo, com limites que acompanham as recomendações de diversos autores, para a produção de toras em florestas plantadas. Em especial, para coníferas nos diversos continentes, o manejo recomendável tem sido na faixa de 60% a 40%. Com a manutenção do povoamento nesta faixa de densidade populacional, as árvores terão características das dominantes, tendendo a ser superiores e com fuste bem formado. Considera-se que, acima dessa faixa, há competição excessiva, ocorrendo autodesbaste pela mortalidade das árvores e, abaixo dessa faixa, há sobra de espaço, com consequente desperdício de recursos do sítio. Dentro dessa faixa, a opção por desbastar mais próximo da linha superior ou da inferior dependerá do objetivo da produção. Se o objetivo for a produção de toras menores com rotações mais curtas, os desbastes deverão ser mantidos mais próximos da linha do limite superior (Oliveira, 2011).

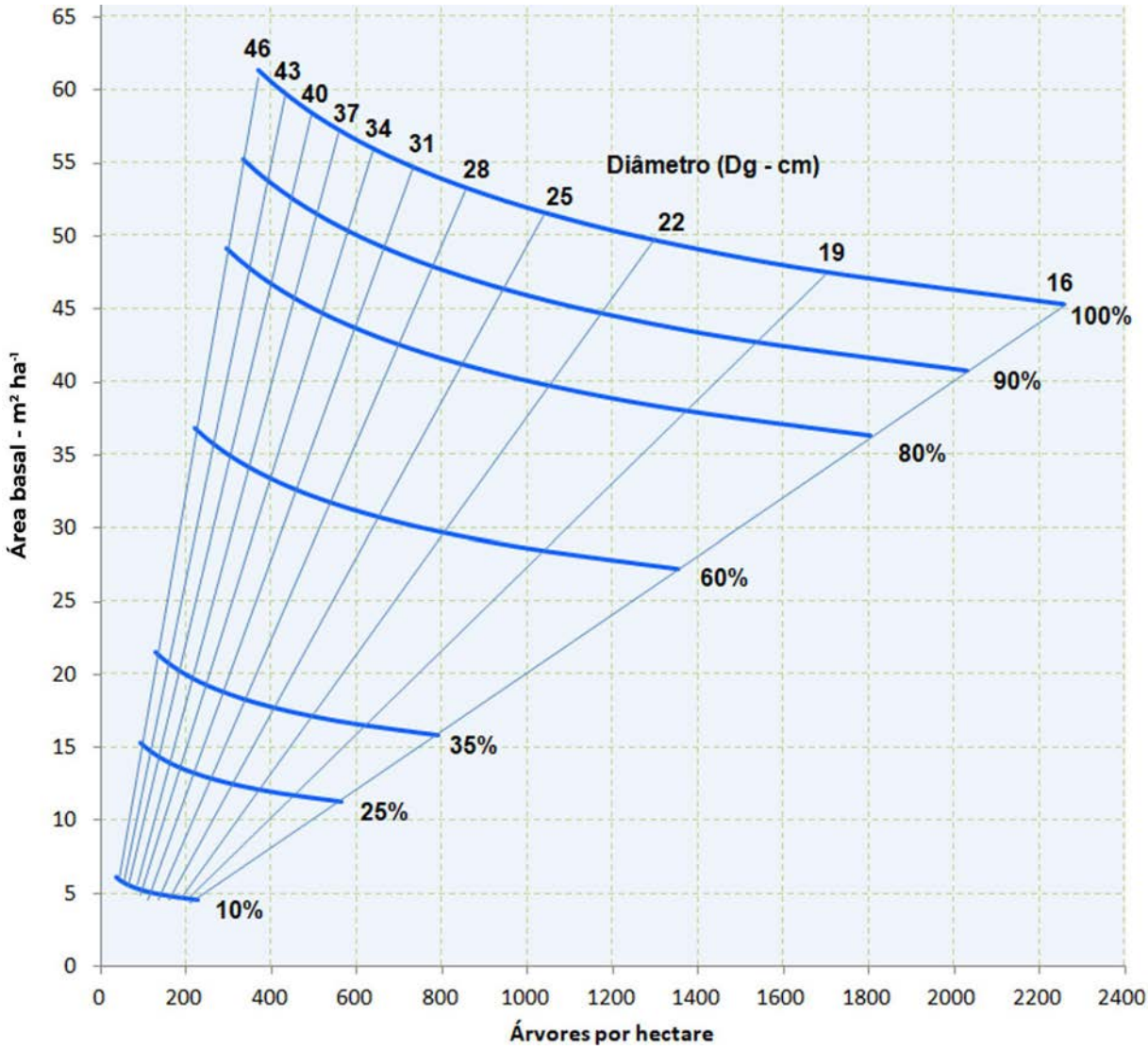


Figura 6. Diagrama de manejo da densidade (DMD) para teca inserido no SisTeca®.

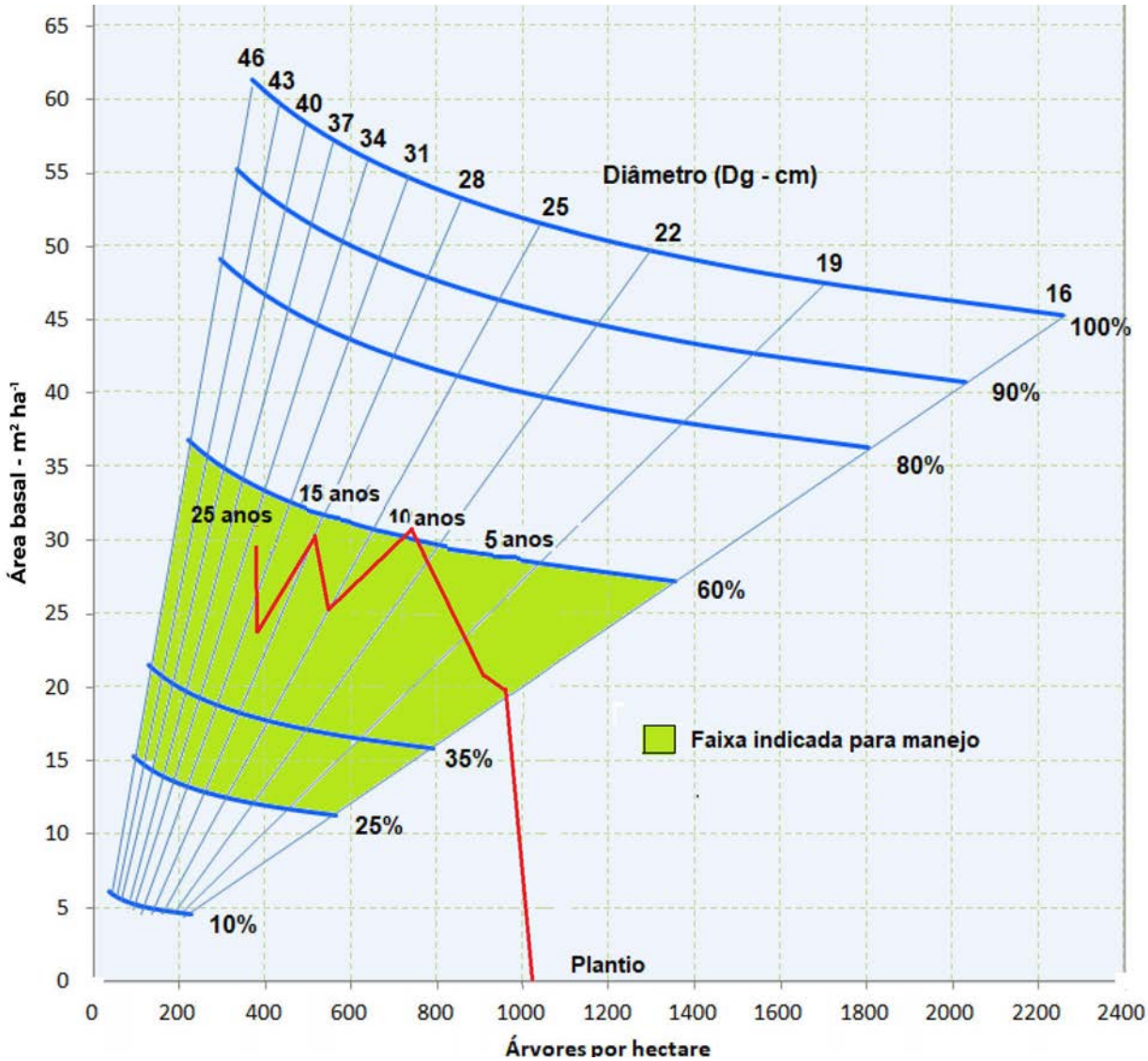


Figura 7. Diagrama de manejo da densidade (DMD) para teca, inserido no SisTeca®, com segmentos de linha mostrando resultados do manejo do povoamento descrito no Exemplo 1.

Para teca na Índia, Kumar et al. (1995) destacaram que a faixa ótima de manejo, para obtenção de maior produção volumétrica de madeira, com toras de menores dimensões, está entre 35% e 60% (percentual de início de autodesbaste, que ocorre com a mortalidade das árvores devido à competição entre elas) da densidade máxima. Para obter toras maiores, o desenvolvimento individual das árvores deverá ser estimulado, com a condução na faixa de 35% a 25% (percentual de início do fechamento do dossel, que marca o início da competição por recursos do meio). Estas faixas também são destacadas por Arias-Aguilar (2004), para a Costa Rica e Madi et al. (2020) para o Brasil. Assim, serão utilizadas as linhas com estes percentuais no DMD gerado, com destaque da faixa para manejo delimitada por elas (Figura 7).

Há bastante semelhança entre estes limites para teca com os limites de outras espécies. Harrington (1997) encontrou fechamento do dossel com início a, aproximadamente, 25% do IDP e começo do autodesbaste entre 50% e 55% do IDP para povoamentos de *Pinus taeda*.

O regime de manejo adotado no Exemplo 1 busca manter a área basal na faixa entre 60% e 35% da densidade máxima. A evolução do povoamento, com os impactos dos dois desbastes, pode ser observada pelos segmentos de linha vermelha na Figura 7.

As variáveis contempladas são: número de árvores por hectare, Dg e área basal. A integração do DMD com o SisTeca® possibilita o processamento destas variáveis juntamente com outras variáveis de crescimento e de produção de madeira altamente influentes na densidade do povoamento, especialmente altura dominante, altura média e idade do povoamento.

O gráfico mostra ainda a porcentagem da densidade máxima (Reinike) e o índice de Hart-Becking. Com o gráfico gerado pelo SisTeca®, as dinâmicas e interações das diversas variáveis podem ser monitoradas para cada idade, conforme a prognose de crescimento e de produção. Isto possibilita utilizar o DMD de forma muito simples e completa, com o acompanhamento anual da densidade e de toda estrutura do povoamento, por meio de uma visão simultânea e integrada da altura dominante, da altura média, do diâmetro médio, do número de árvores por hectare, da área basal, do volume total de madeira e do sortimento por classes de utilização industrial.

O gráfico do SisTeca® referente ao Exemplo 1 está apresentado na Figura 8 (sem desbastes) e na Figura 9 (com desbaste). Os triângulos de cor rosa marcam os limites superior e inferior da faixa indicada para manejo. Os dois desbastes seletivos realizados buscaram manter a área basal dentro da faixa de manejo recomendada pelo DMD, ou seja, entre 25% e 60% da densidade populacional máxima.

A evolução do percentual da densidade máxima do povoamento, ao longo do tempo e com o manejo adotado, também é apresentada nas tabelas de crescimento e de produção, conforme Figuras 6 e 7 (% Dens. Max – Porcentagem da densidade máxima – Reineke). Um valor de 100% indica que o sítio está numa condição de ocupação completa ou estoque completo. Na Figura 5 pode ser observado que este percentual chegou a 90%, aos 25 anos de idade, no povoamento sem desbaste. Com os desbastes, este percentual foi reduzido para 56% na idade de corte, e não ultrapassou 65% da capacidade do sítio em nenhum momento, ao longo do horizonte de planejamento.

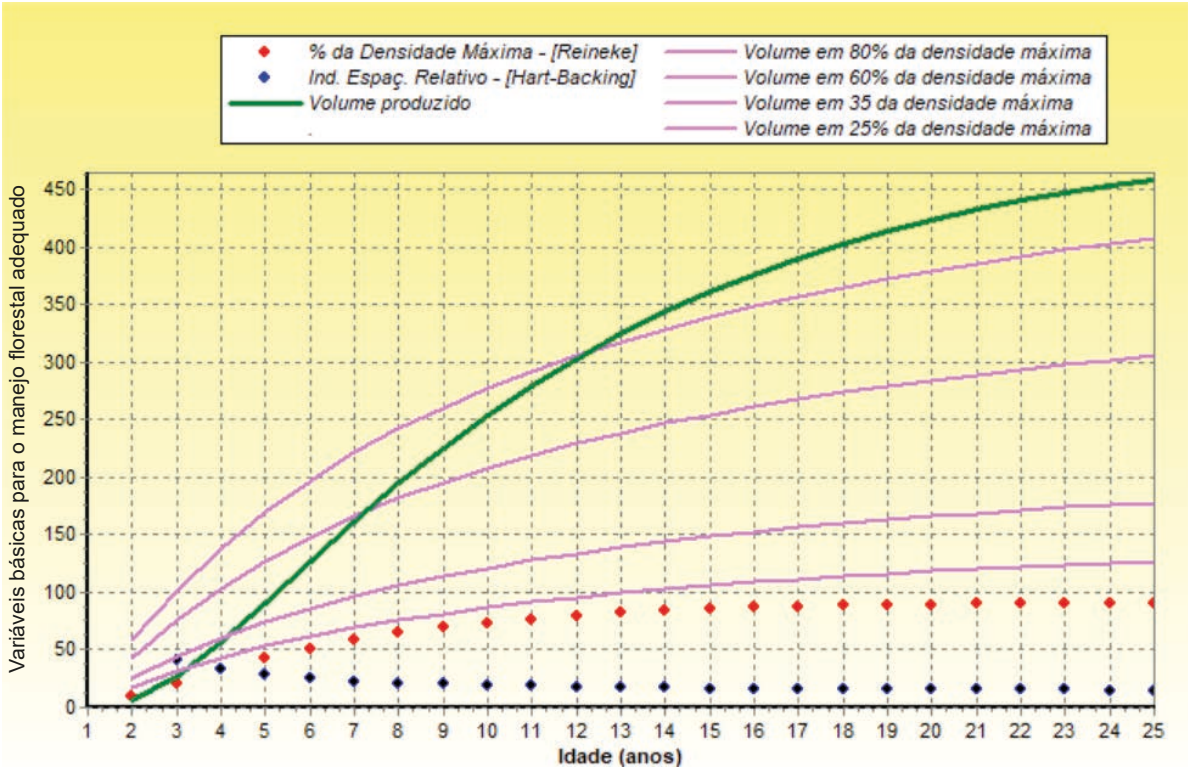


Figura 8. Gráfico com as variáveis básicas para o manejo florestal de precisão geradas pelo SisTeca® para o Exemplo 1, sem desbastes.

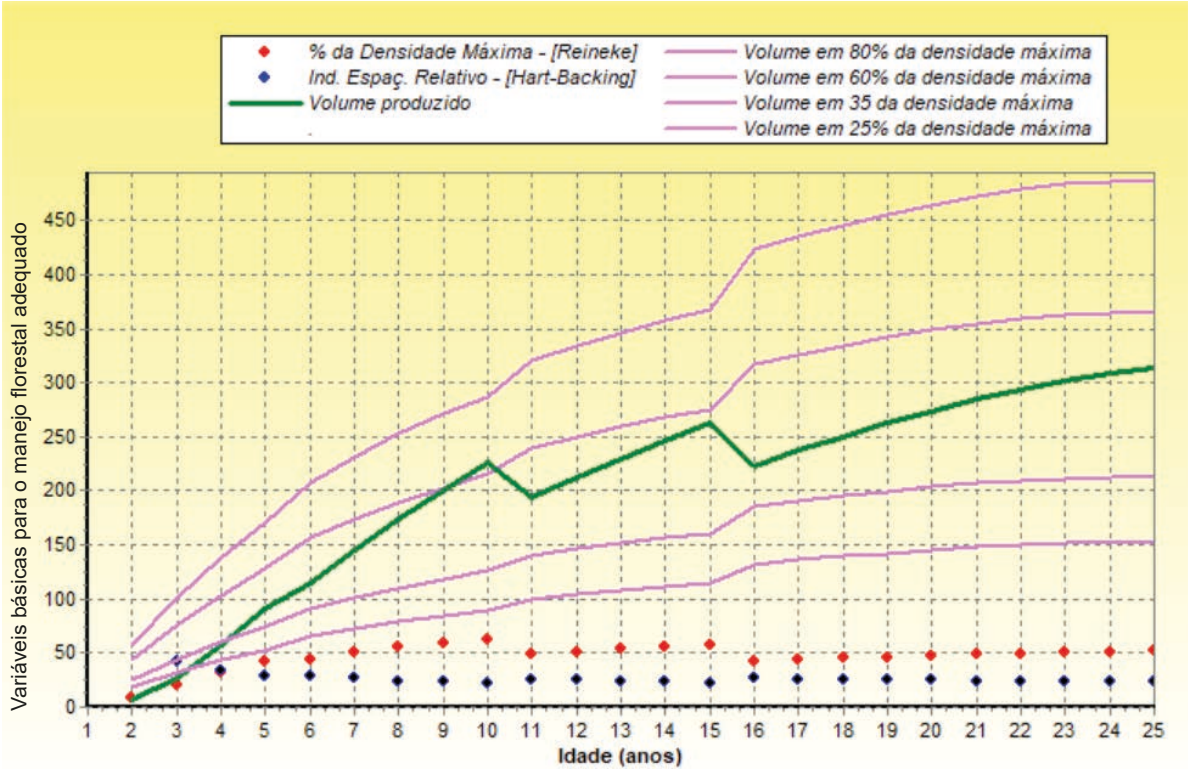


Figura 9. Gráfico com as variáveis básicas para o manejo florestal de precisão gerado pelo SisTeca® para o Exemplo 1, com desbastes.

O Índice de Hart-Becking (S%) ou Índice de Espaçamento Relativo é a relação entre o espaçamento médio entre árvores (*EM*) e a altura dominante (*H*): $S(\%) = 100.\frac{EM}{H}$

O espaçamento médio entre árvores (*EM*) pode ser calculado pela expressão:

$EM = \sqrt{\frac{10000}{N}}$, onde N é o número de árvores por hectare.

Descrição do SisILPF_Teca®

Para o manejo de teca cultivada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o software recebe a denominação de SisILPF_Teca®. As informações sobre o plantio necessárias para a utilização desse software são as mesmas utilizadas no sistema para monocultivo de teca (SisTeca®), acrescidos de informações sobre o arranjo do ILPF (número de linhas de árvores por renque, espaçamento entre linhas no renque e distância entre renques) (Figura 10). Com a informação do número de árvores por hectare, o próprio software calcula o espaçamento entre árvores na linha. Este procedimento é utilizado para contemplar processamentos com dados de inventários de sistemas de ILPF já implantados, com ocorrência de mortalidade.

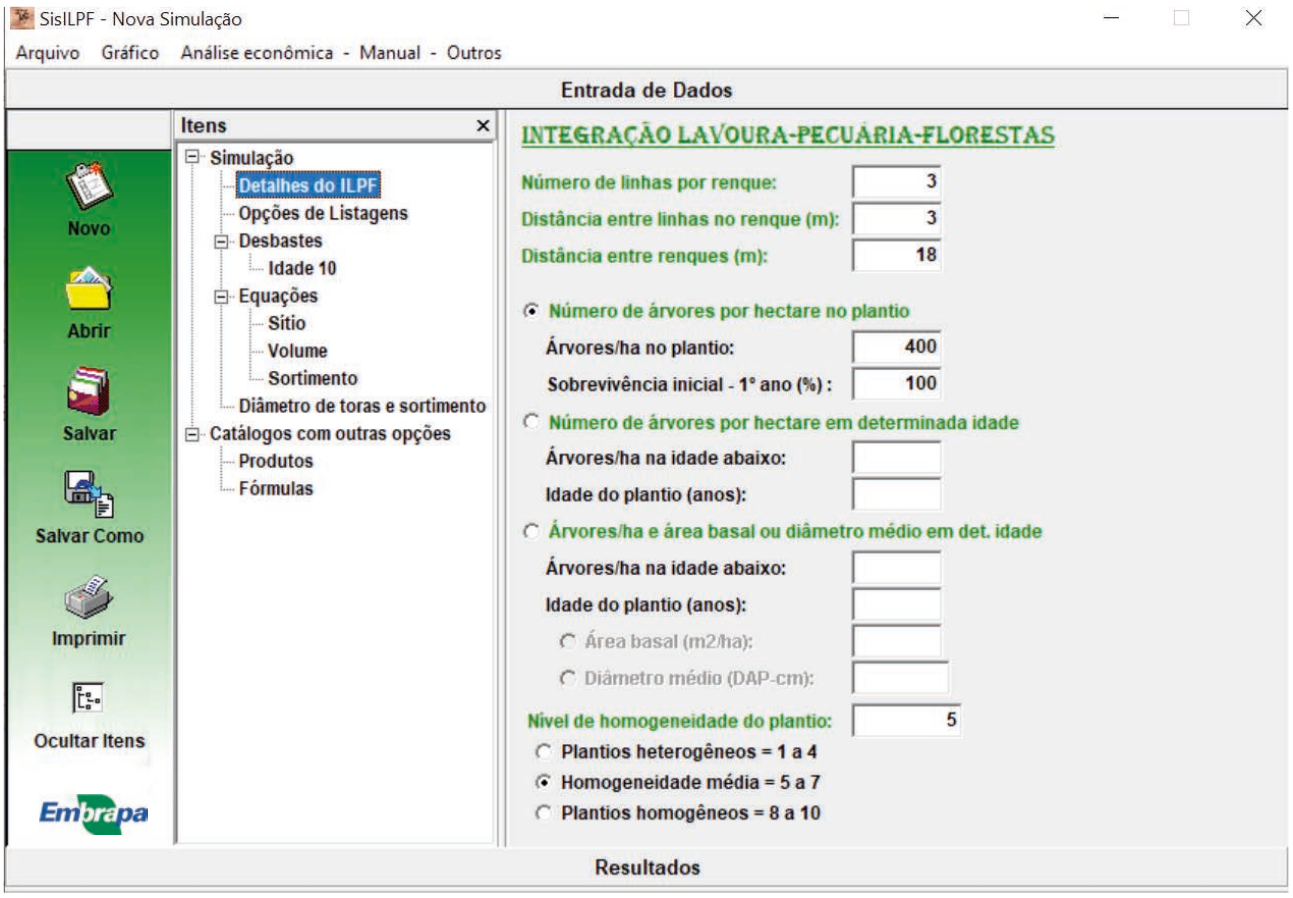


Figura 10. Tela do SisILPF_Teca®, com informações sobre o Exemplo 2.

Para a descrição do software, será considerado o Exemplo 2, em que o sistema de ILPF é constituído por renques de linhas triplas, com 400 árvores ha^{-1}, 100% de sobrevivência, espaçamento entre linhas de 3 m, espaçamento entre renques de 18 m, índice de sítio de 20 m. Foi considerado um "nível de heterogeneidade do plantio" médio, com valor 5. A Figura 10 mostra a tela do software com estes dados. No Exemplo 2 foram mantidas as equações de volume, de sítio e de afilamento usadas no Exemplo 1, bem como as dimensões de tora para sortimento, tendo como resultado dessa simulação a tela apresentada na Figura 11.

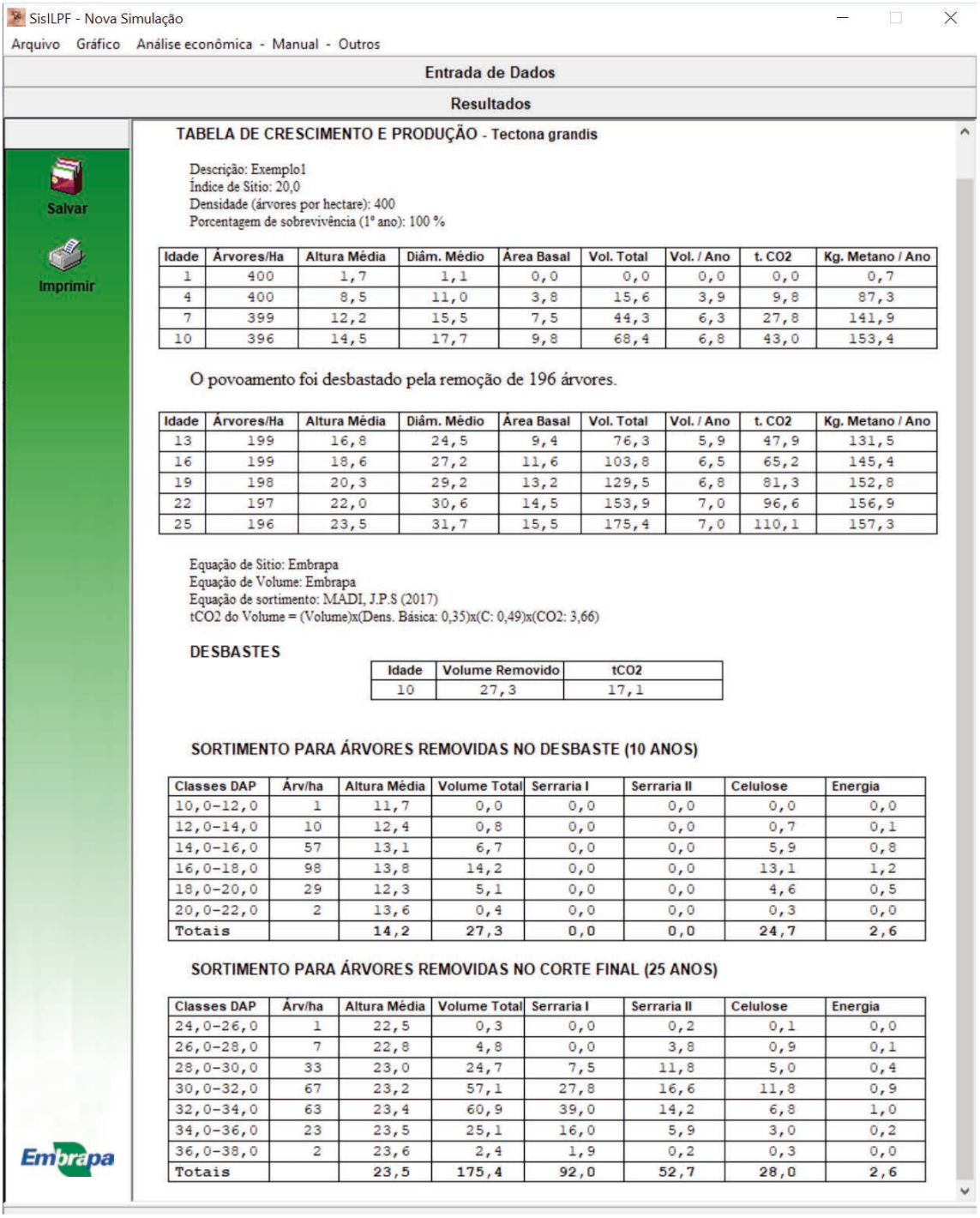


TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Tectona grandis

Descrição: Exemplo1
Índice de Sitio: 20,0
Densidade (árvores por hectare): 400
Porcentagem de sobrevivência (1° ano): 100 %

Idade	Árvores/Ha	Altura Média	Diâm. Médio	Área Basal	Vol. Total	Vol. / Ano	t. CO2	Kg. Metano / Ano
1	400	1,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
4	400	8,5	11,0	3,8	15,6	3,9	9,8	87,3
7	399	12,2	15,5	7,5	44,3	6,3	27,8	141,9
10	396	14,5	17,7	9,8	68,4	6,8	43,0	153,4

O povoamento foi desbastado pela remoção de 196 árvores.

Idade	Árvores/Ha	Altura Média	Diâm. Médio	Área Basal	Vol. Total	Vol. / Ano	t. CO2	Kg. Metano / Ano
13	199	16,8	24,5	9,4	76,3	5,9	47,9	131,5
16	199	18,6	27,2	11,6	103,8	6,5	65,2	145,4
19	198	20,3	29,2	13,2	129,5	6,8	81,3	152,8
22	197	22,0	30,6	14,5	153,9	7,0	96,6	156,9
25	196	23,5	31,7	15,5	175,4	7,0	110,1	157,3

Equação de Sitio: Embrapa
Equação de Volume: Embrapa
Equação de sortimento: MADI, J.P.S (2017)
tCO2 do Volume = (Volume)x(Dens. Básica: 0,35)x(C: 0,49)x(CO2: 3,66)

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2
10	27,3	17,1

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (10 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
10,0-12,0	1	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0-14,0	10	12,4	0,8	0,0	0,0	0,7	0,1
14,0-16,0	57	13,1	6,7	0,0	0,0	5,9	0,8
16,0-18,0	98	13,8	14,2	0,0	0,0	13,1	1,2
18,0-20,0	29	12,3	5,1	0,0	0,0	4,6	0,5
20,0-22,0	2	13,6	0,4	0,0	0,0	0,3	0,0
Totais		**14,2**	**27,3**	**0,0**	**0,0**	**24,7**	**2,6**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (25 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
24,0-26,0	1	22,5	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0
26,0-28,0	7	22,8	4,8	0,0	3,8	0,9	0,1
28,0-30,0	33	23,0	24,7	7,5	11,8	5,0	0,4
30,0-32,0	67	23,2	57,1	27,8	16,6	11,8	0,9
32,0-34,0	63	23,4	60,9	39,0	14,2	6,8	1,0
34,0-36,0	23	23,5	25,1	16,0	5,9	3,0	0,2
36,0-38,0	2	23,6	2,4	1,9	0,2	0,3	0,0
Totais		**23,5**	**175,4**	**92,0**	**52,7**	**28,0**	**2,6**

Figura 11. Tela do SisILPF_Teca® com resultados do crescimento e da produção para o Exemplo 2.

Com um clique no item “Gráfico”, localizado na parte superior da tela, aparece o gráfico correspondente, conforme a Figura 12.

No gráfico, o Tier 1 (Nível 1) considera o valor de referência para emissões de metano entérico fixado para a América Latina, em 56 kg CH_4 animal^{-1} ano e o Tier 2 (Nível 2) considera o valor de referência de 70 kg CH_4 animal^{-1} ano, conforme Alves et al. (2017). Isto indica que, a partir do quarto ano, o carbono sequestrado pelas árvores do sistema de ILPF no Exemplo 2 seria suficiente para compensar a emissão de metano de, pelo menos, 2 animais ha^{-1} pelo Tier 2 e 3 animais ha^{-1} pelo Tier 1, durante 25 anos do sistema.

Os cálculos de CO_2 e CH_4 e o gráfico gerado pelo SisILPF_Teca® visam apoiar o setor pecuário em questões ambientais ligadas às mudanças climáticas. A quantificação do carbono sequestrado pelas árvores de cada sistema e quanto ela representa, em termos de compensação de emissões pelo gado, podem ser um forte fator favorável nos processos de exportação para mercados exigentes em questões ambientais.

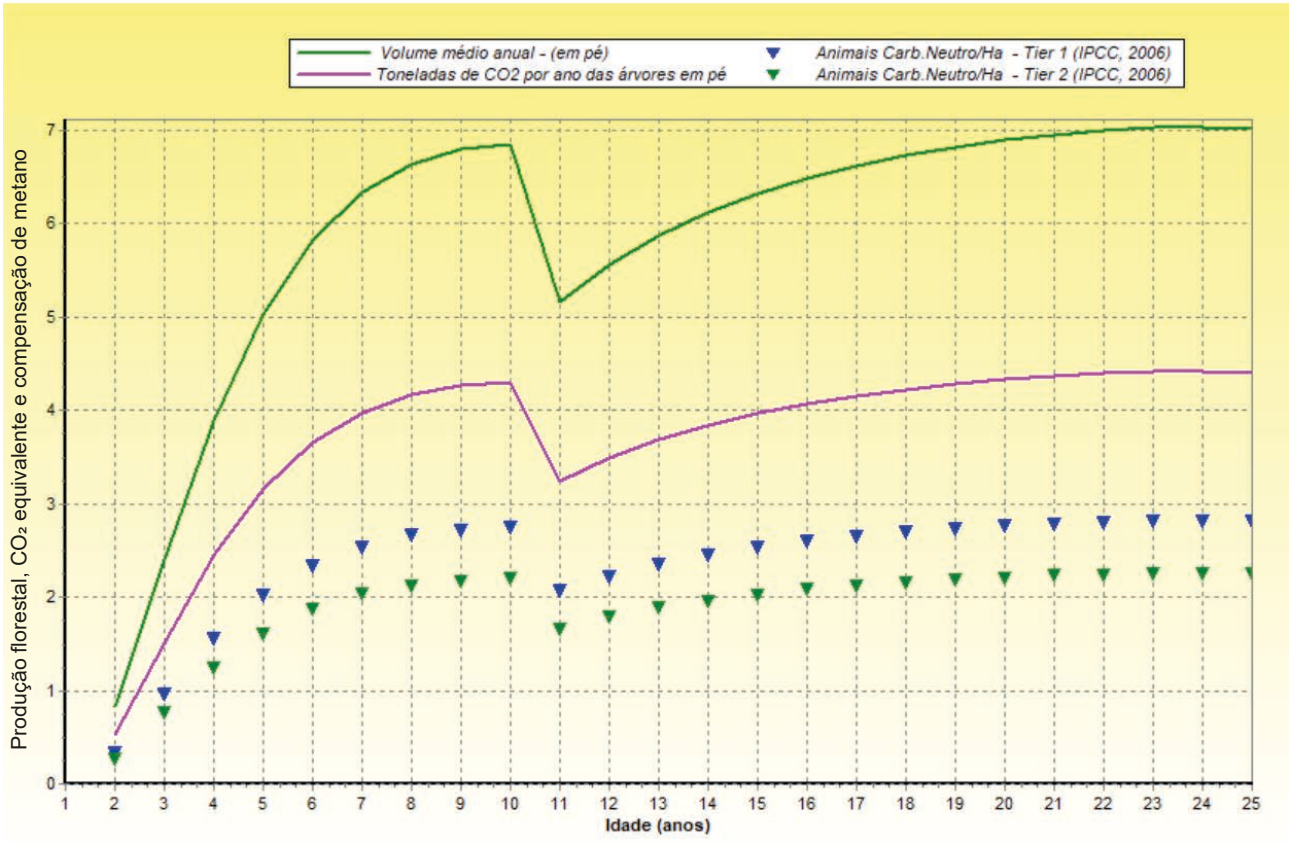


Figura 12. Gráfico com produção florestal, CO_2 equivalente e compensação de metano gerado pelo SisILPF_Teca® para o Exemplo 2.

A base estatística dos softwares

Todos os softwares de simulação de crescimento, de produção e de manejo florestal da Embrapa Florestas (Oliveira, 2011) foram construídos com base em distribuições probabilísticas, que possibilitam projetar ano a ano a estrutura de cada plantação, envolvendo simultaneamente os parâmetros da distribuição utilizada e, consequentemente, as variáveis de crescimento e de produção florestal.

Para o SisTeca®, os algoritmos são baseados nas distribuições probabilísticas S_B e S_B bivariada (S_{BB}), conforme Hafley e Schreuder (1977), Schreuder e Hafley (1977) e Hafley e Buford (1985). A distribuição S_B descreve a distribuição marginal da variável diâmetro ou altura de árvores de um povoamento em diferentes idades e a S_{BB} descreve a distribuição conjunta destas variáveis.

Conforme Oliveira (1995), a função de distribuição S_B é expressa por:

$$f(x) = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{2\pi}(x-\xi)(\xi+\lambda-x)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{(x-\xi)}{(\xi+\lambda-x)}\right)\right]^2\right\},$$

A construção da distribuição S_{BB} é baseada na distribuição S_B, juntamente com a distribuição Normal Bivariada.

Considerando-se D e H, o DAP e a altura total das árvores, respectivamente, tem-se:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right)$$

$$z_H = \gamma_H + \delta \ln\left(\frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H + \xi_H - X_H}\right)$$

em que z_D e z_H têm distribuição Normal Bivariada com correlação ρ.

$$f(z_D, z_H) = \left[2\pi\left(1-\rho^2\right)^{1/2}\right]^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(1-\rho^2\right)^{-1}\left(z_D{}^2 - 2\rho z_D z_H + z_H{}^2\right)\right],$$

Os parâmetros ξ_D e ξ_H representam, respectivamente, os valores mínimos de D e H na população e λ_D e λ_H representam as amplitudes de D e H. Os parâmetros γ_D, γ_H, δ_D e δ_H não podem ser relacionados às características individuais do povoamento florestal, mas sim pelas seguintes expressões:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad \text{e} \quad \hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right)$$

em que:

σ_x = desvio padrão de x (x = H ou D) e x_m = moda de x.

O valor de X_m é definido pelo valor de x que satisfaz a expressão:

$$\frac{2(x-\xi)}{\lambda} - 1 = \delta\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x-\xi}{\lambda+\xi-x}\right)\right]$$

Para a elaboração do modelo de crescimento e de produção, as estimativas dos parâmetros foram associadas, por meio de funções, ao número de árvores ha^{-1} (S) e à altura dominante (H_D) ou à idade do povoamento, utilizando-se o modelo de Richards:

Parâmetro de interesse = $f_1(S)\{1-\exp[H_D f_2(S)]\}^{f_3(S)}$

Equações para a estimativa dos parâmetros da distribuição S_{BB}.

1. $H_D = \exp\left\{a_1\left[(1/A)^{b_1} - (1/15)^{b_1}\right]\right\} IS$
2. $H_m = H_D(a_2 + b_2 A)$
3. $H_1 = H_D a_3\left[1 - \exp(-b_3 A)\right]$
4. $s_H = a_4\left[1 - \exp(-b_4 A)\right]^{c_4}$
5. $D_D = a_5\left[1 - \exp(-b_5 H_D)\right]^{c_5}$
6. $D_m = D_D a_6\left[1 - \exp(-b_6 H_D)\right]$
7. $D_1 = D_D a_7\left[1 - \exp(-b_7 H_D)\right]^{c_7}$
8. $s_D = a_8\left[1 - \exp(1 - b_8 H_D)\right]^{c_8}$
9. $\rho(Z_D, Z_H) = a_9 + b_9 \cos(c_9 H_D) + d_9 H_D$

em que:

IS = índice de sítio;
H_D = altura dominante;
A = idade do povoamento;
D_D = maior diâmetro;
H_m e D_m = moda das alturas e dos diâmetros;
H_1 e D_1 = menor altura e menor diâmetro;
s_H e s_D = desvios padrões das alturas e dos diâmetros;
a_i, b_i e c_i (i = 1, 2 . . . 9) = equações para cada parâmetro, com variável independente baseada no número de árvores ha^{-1}.

Para a estimativa da produção do povoamento florestal é utilizada a distribuição S_{BB}, conforme a metodologia apresentada por Hafley e Buford (1985), cujos parâmetros são definidos em função das características do povoamento e do número de árvores por hectare, na idade estudada.

Os valores do diâmetro quadrático médio, área basal e altura média são obtidos a partir dos momentos das distribuições S_B e S_{BB}, por meio de um processo de integração que faz uso da quadratura de Gauss. A integração da distribuição S_{BB} em relação às duas variáveis possibilita o cálculo da tabela de frequência, por classes de diâmetro e altura.

Sendo a variável: $y_i = \dfrac{(x - \xi)}{\lambda}$

de distribuição S_B, a área basal por árvore (AB) será obtida por:

em que: $E[AB] = E[KD^2] = KE[(\gamma_D \lambda_D + \xi_D)^2]$

$$AB = K[\gamma_D{}^2 \mu'_{2D} + 2\xi_D \lambda_D \mu'_{1D} + \xi_D{}^2]$$

μ'_{1D} e μ'_{2D} = primeiro e o segundo momento não central da distribuição S_B para o diâmetro.

O modelo desenvolvido possibilita a simulação de desbastes, que consiste em atividade fundamental para dar suporte às estratégias de manejo dos povoamentos. Estes desbastes podem ser sistemáticos, seletivos ou mistos.

Para se estimar a produção das árvores remanescentes, bem como simular o crescimento do povoamento após cada desbaste, podem ocorrer duas situações:

1. Se o desbaste é apenas sistemático, os parâmetros da distribuição S_{BB} não serão alterados, apenas o número de árvores remanescentes sofrerá mudanças.

2. Se o desbaste adotado for seletivo ou misto, a distribuição S_{BB} deverá ser truncada (Definição 2) em função de ambas as variáveis.

O ponto de truncamento é definido mediante processo iterativo de coordenadas ao longo da linha, sendo $y_D = y_H$.

Esta relação pode ser expressa por:

$$\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D} = \frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H}$$

O ponto inicial para o processo iterativo tem coordenadas (ξ_D, ξ_H) e vai até o ponto em que se atinge o número de árvores ou área basal que deverá permanecer.

Com a definição do ponto de truncamento, são obtidas as estimativas dos parâmetros, cujas expressões têm por base a distribuição normal bivariada duplamente truncada.

Os valores mínimos das duas variáveis serão equivalentes ao ponto de truncamento e os valores máximos serão os mesmos da distribuição não truncada.

$$\rho = \frac{\mu_{1D1H}^{\ t}}{\left(\mu'_{2D}{}^{t}\,\mu_{2H}{}^{t}\right)^{1/2}}$$

em que:

μ'_{1D1H}= primeiro momento em relação à média da distribuição normal bivariada truncada em relação às duas variáveis,

$\mu'_{2D}t$ e $\mu'_{2H}t$ = segundo momento em relação à média da marginal distribuição normal bivariada truncada, em relação às duas variáveis.

Os desvios padrões s_D e s_H são obtidos por:

$$s_i = \frac{4\left(\mu_{2i}{}^{t}\right)}{\lambda_i} \; ; \; i = \text{D ou H}$$

O valor da moda de D e H é dado pela expressão:

em que:

$$\rho\delta_i \exp(-z^2{}_{mi}) = \delta_i\left[\pi\left(1-\rho^2\right)/2\right]^{1/2}\left[z_{mi} - 1 - 2y_{mi}\right]\psi(z_{mi}), i = \text{ D ou H}$$

$$Z_{mi} = \gamma_i + \delta_i \ln\left(\frac{\gamma_{mi}}{1-\gamma_{mi}}\right), i = \text{D ou H}$$

$$y_{mi} = \frac{x_{mi} - \xi_i}{\lambda_i},$$

Considerações finais

Os softwares SisTeca® e SisILPF_Teca® consideram, nas simulações de desbaste, a variável diâmetro, simultaneamente, com a altura e a sobrevivência das árvores. Na prática, árvores com diâmetros ainda que menores, mas que tenham boas alturas e potencial de crescimento, em princípio não são desbastadas. Assim, o uso de algoritmos, com estrutura multivariada pelos sistemas, permite a obtenção de resultados que representem parte do conjunto de árvores remanescentes, com diâmetros menores, mas com alto potencial de crescimento pela maior altura, quando em menor competição com árvores vizinhas, como se espera na prática.

Em um povoamento florestal, a escolha adequada das árvores a serem desbastadas leva em conta a homogeneidade da distribuição espacial, evitando a formação de clareiras e reduzindo a competição entre copas de árvores vizinhas. São também considerados aspectos tais como: controle de plantas invasoras, redução do excesso de ramos, qualidade da copa da árvore, sanidade, vigor, forma e bifurcação ou tortuosidade. Questões como estas ainda não são consideradas diretamente nos softwares, mas vêm sendo trabalhadas de forma ao aprimoramento necessário e oportuno, para contemplar os avanços das técnicas de silvicultura de precisão.

Referências

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MACEDO, M. C. M.; MEDEIROS, S. R.; FERREIRA, A. D.; GOMES, R. C.; ARAÚJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; BUNGENSTAB, D.; FEIJÓ, D. **Carbon neutral brazilian beef**: a new concept for sustainable beef production in the tropics. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2017. 36 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 243). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167390/1/Carbon-neutral-brazilian-beef.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

ARIAS-AGUILAR, D. Validación del índice de densidad del rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* L. f. en el trópico. **Kuru**: Revista Forestal, v. 1, p. 1-7, 2004.

HAFLEY, W. L.; BUFORD, M. A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science**, v. 31, n. 1, p. 237-247, 1985.

HAFLEY, W. L.; SCHREUDER, H. T. Statistical distribuition for fitting diameter and height data in even-aged stand. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 7, p. 481-487, 1977.

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural approaches for thinning southern pines**: method, intensity, and timing. Georgia: School of Forest Resources, 1997. 17 p.

JAYARAMAN, K.; ZEIDE, B. Optimizing stand density in teak plantations. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 24, p. 1-22, 2007.

KUMAR, B. M.; LONG, J. N.; KUMAR, P. A density management diagram for teak plantations of Kerala in peninsular India. **Forest Ecology and Management**, v. 74, n. 1-3, p. 125-131, 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03499-M.

MADI, J. P. S.; CALEGARIO, N.; MÔRA, R.; CARVALHO, M. P. L. C.; CARVALHO, S. P. C. Density management in clonal *Tectona grandis* Linn. f. plantations. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, e3296, 2020. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.25.

MINOCHE, D.; RISIO-ALLIONE, L.; HERRERO DE AZA, C.; MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P. Density management diagram for teak plantations in Tabasco, Mexico. **Biogeosciences and Forestry**, v. 10, n. 6, p. 909-915, 2017. DOI: https://doi.org/10.3832/ifor2247-010.

OLIVEIRA, E. B. de. **SisTeca**: simulador de crescimento e produção para o manejo de plantações de *Tectona grandis*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 199). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42708/1/com_tec199.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

OLIVEIRA, E. B. de. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo:

Embrapa Florestas, 2011. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39886/1/Doc216.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

OLIVEIRA, E. B. de. **Um sistema computadorizado de prognose de crescimento e produção de *Pinus* taeda L. com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. 1995. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PEREZ, D.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 210, p. 435-441, 2005.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 627-638, 1933.

SCHREUDER, H. T.; HAFLEY, W. L. A useful bivariate distribuition for describing stand structure of tree heights and diameter. **Biometrics**, v. 33, p. 471-477, 1977.

TANG, S.; MENG, C. H., MENG, F. R. A growth and self-thinning model for pure even-age stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 67-73. 1994.

YODA, K.; KIRA, T.; OGAWA, H.; HOZUMI, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. **Journal of Biology**, v. 14, 107-129. 1963.

ZEIDE, B. A relationship between size of trees and their number. **Forest Ecology and Management**, v. 72, p. 265-272, 1995.



designed by Pressfoto - Freepik.com

16

Planejamento, análise econômica e pesquisa operacional da teca

Edilson Batista de Oliveira
Julio Eduardo Arce
Cesar Junio de Oliveira Santana

Introdução

O planejamento florestal, devidamente alinhado com tecnologias digitais e, em especial, com ferramentas computacionais, para tomadas de decisão com rapidez, eficiência e eficácia, vem ocupando rapidamente o espaço, como meio de assegurar altos retornos dos investimentos no segmento de florestas plantadas.

Neste contexto, o planejamento para plantações de teca (*Tectona grandis* L. f.) possui importância especial. Há muitos fatores de propulsão para esse segmento. São fortes as demandas de mercado, interno e externo, para seus múltiplos produtos. O Brasil possui extensas áreas e ótimas condições de clima e de solo para plantações de teca, com destaque para o elevado potencial de expansão de seu cultivo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Entretanto, também há riscos elevados, especialmente os inerentes ao longo ciclo para a colheita final, logística complexa e custos de produção que tendem a ser altos. Todos estes fatores exigem maior refinamento nas técnicas de controle, em todas as etapas dos processos envolvidos.

Neste capítulo, inicialmente serão apresentados detalhes da estrutura de um ciclo de planejamento florestal e de análise de riscos de investimentos com teca. Em seguida será apresentada uma análise dos principais artigos técnico-científicos publicados no Brasil, nas últimas duas décadas, envolvendo análise econômica de plantações da espécie. Com base em estudos de caso, serão apresentados softwares destinados à análise econômica e à pesquisa operacional, desenvolvidos pelos autores deste capítulo, para dar suporte à avaliação e à maximização da rentabilidade econômica de plantações teca.

O capítulo prioriza a construção de uma visão holística, como base para um planejamento florestal completo. Está estruturado em softwares que buscam reduzir incertezas nos processos decisórios, os quais se interligam ao simulador SisTeca®, descrito em capítulo anterior deste livro, aumentando as probabilidades de atingir os objetivos e as metas do empreendimento.

O trabalho discute técnicas destinadas ao planejamento florestal, visando especialmente dar subsídios às atividades de planejamento e de gestão de empreendimentos, bem como a estudos diversos e à implementação de ações de incentivo ao reflorestamento com teca. O público-alvo envolve produtores rurais, empresas/instituições, órgãos e empresas de assistência técnica rural, institutos ambientais, cooperativas, secretarias municipais,

sindicatos, associações, inclusive universidades e centros tecnológicos para atividades de ensino, pesquisa e extensão.

Os softwares apresentados são o Planin®, para análise econômica e o OpTimber-LP® para pesquisa operacional aplicada à otimização econômica de regimes de manejo, da demanda por multiprodutos e do desdobro de toras.

O Planin®, disponível gratuitamente no site da Embrapa Florestas (https://www.cnpf.embrapa.br/software/), será apresentado passo a passo, de forma a dar condições para que os usuários possam realizar análise econômica de forma simples e planejar melhor suas plantações. Para isto, será elaborada uma planilha de custo de produção de teca, no contexto da discussão dos artigos publicados sobre o tema, que também tem por objetivo servir de base para que os produtores avaliem e monitorem os custos envolvidos, ajustando os valores dos itens ao âmbito de seus empreendimentos.

O OpTimber-LP® será apresentado, por meio de dois estudos de caso, utilizando técnicas da pesquisa operacional. No primeiro, o software será aplicado na otimização do retorno econômico pela indicação da melhor forma de desdobrar toras. No segundo, o software será aplicado na seleção de regimes de manejo de teca que maximizem a receita com a madeira produzida, considerando diferentes taxas de atratividade.

Os dados para o estudo (regimes de manejo e dimensões de fuste) serão gerados pelo software SisTeca®, apresentado em outro capítulo deste livro.

Planejamento florestal integrado

O planejamento florestal busca maximizar o lucro do negócio e racionalizar o uso dos ativos, minimizando os custos de produção e de distribuição dos produtos florestais e assegurando o suprimento sustentável de madeira, no curto e longo prazo.

Em um ciclo completo de planejamento florestal, os resultados de um nível de planejamento se tornam dados de entrada do próximo nível de planejamento. À medida que se migra do nível de planejamento estratégico em direção ao planejamento operacional, a resolução de detalhes aumenta em relação à realidade operacional (Figura 1).

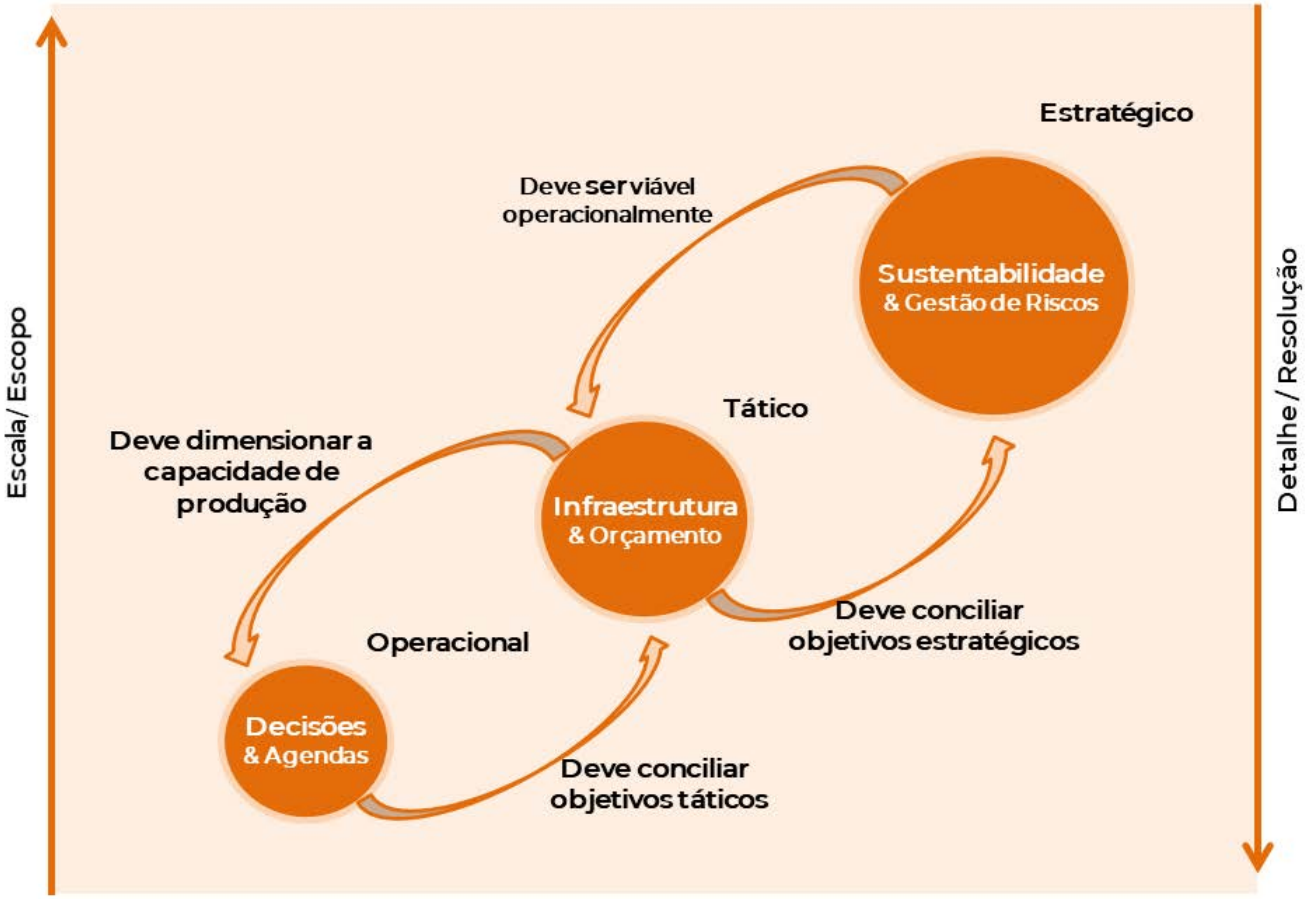


Figura 1. Esquema de um ciclo de planejamento florestal.

Planejamento estratégico

Este nível fornece uma visão global sobre todos os ativos florestais e como eles se desenvolvem ao longo do tempo. Como é frequentemente construído sobre um horizonte que abrange algumas décadas, o planejamento estratégico permite analisar o retorno sobre os investimentos, os fluxos de caixa e a condição da base florestal, ao longo de múltiplos períodos, o que não pode ser considerado em uma abordagem de curto prazo. Os resultados deste plano são tipicamente usados para fins de planejamento de investimentos de capital, de definição de estratégias de suprimento sustentável, de planejamento e de avaliação de ativos, para seleção de regimes de manejo florestal, para localização de novas instalações em projetos de expansão, em análises de riscos e de impacto financeiro.

Questões geralmente endereçadas no processo de planejamento estratégico do negócio:

- Qual é o melhor desempenho que pode ser alcançado?

- O que se propõe é sustentável no longo prazo?
- Quais são as restrições mais críticas a enfrentar?
- Pode-se melhorar o desempenho? Como?
- Que mudanças impactam drasticamente o retorno do projeto?
- Como as restrições espaciais, ambientais e de infraestrutura afetam o desempenho?

Planejamento tático

O planejamento tático tem início com o agendamento espacial das operações por fazenda, no médio prazo, onde os primeiros cinco anos do cenário de longo prazo são desdobrados.

Os cenários espaciais de médio prazo devem incorporar as diretrizes de sustentabilidade do negócio, os aspectos operacionais regionais e o conhecimento de campo da equipe técnica envolvida diretamente nas operações. Portanto, é necessário equilibrar aspectos técnicos, operacionais, comerciais, sazonais, orçamentários, ambientais e sociais no planejamento tático das operações de colheita, de transporte, de comercialização de madeira e de silvicultura.

Os resultados deste processo são empregados na elaboração do plano de negócios e subsidiam diretrizes táticas de grande relevância, tais como: quais serão os níveis de investimento na malha viária por período, o dimensionamento dos sistemas de colheita e de recursos de produção, as estratégias que serão adotadas na logística e no roteamento de transporte, as políticas de estoques por local, a localização de pátios intermediários, a elaboração do programa trimestral de silvicultura e o plano de contratação de serviços.

Planejamento operacional

O planejamento operacional é o processo em que as metas físico-financeiras são definidas ao longo do ano. Nesta etapa são definidas as diretrizes de orçamento anual e a programação mensal das operações de suprimento de madeira e silvicultura.

No suprimento de madeira, as principais questões endereçadas no planejamento operacional de colheita e transporte de madeira, em busca de eficiência, de produtividade e de redução de custos, são:

- Quais blocos serão colhidos por equipe, e qual a sua sequência?
- Qual será o volume transportado por produto e o tipo de caminhão, em cada período, por fazenda?
- Quais as distâncias médias de transporte mensal?
- Como será o comportamento dos estoques por local, por tipo de produto e por período?
- Qual será o custo total da madeira entregue por cliente?
- Qual será a margem de lucro por pedido/cliente?

O objetivo do planejamento operacional de suprimento de madeira é atender as demandas dos clientes, respeitando as especificações de consumo por produto, fornecendo o produto correto, no tempo certo e no local definido, com economia garantida por decisões baseadas em dados.

Finalmente, o planejamento operacional de silvicultura envolve o sequenciamento de atividades, por projeto e por talhão nas fazendas, envolvendo a alocação de equipes, de recursos operacionais e de prestadores de serviços, a distribuição de mudas e de insumos e, zelando pela execução da lista técnica de operações, dentro dos prazos e padrões estabelecidos, buscando racionalizar os investimentos e atingir as produtividades esperadas por ambiente de produção.

Oportunidades e riscos em investimentos com teca

A viabilidade econômica de projetos com espécies florestais, em geral, apresenta maior complexidade, devido à existência de incertezas e de riscos inerentes ao projeto. Por exemplo, a produtividade real pode ser diferente da produtividade estimada, variação dos preços de mercado bem acima do previsto, aumento dos custos de produção e/ou logística e alterações no cenário macroeconômico.

Há oportunidades e riscos nos diversos itens que compõem um sistema de produção e em toda cadeia produtiva. Na própria decisão sobre o investimento em plantação de teca, existe uma série de itens relacionados e que devem ser considerados, tais como os descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Principais oportunidades (fatores propulsores) ou riscos (fatores de retração) a serem considerados no planejamento de empreendimentos com teca.

1. Produtividade da teca no local.
2. Custo da terra.
3. Custo de produção.
4. Preço da madeira.
5. Acesso a mercados.
6. Estrutura logística.
7. Custos de transporte.
8. Distância dos portos e de polos consumidores de madeira.
9. Acesso a vias e serviços rodoviários, ferroviários, hidroviários e portuários.
10. Financiamentos.
11. Estímulos fiscais.
12. Taxas de juros.
13. Carga tributária.
14. Prazo para o retorno do investimento.
15. Mudas de boa qualidade, com material genético superior.
16. Recursos para aplicar as práticas silviculturais na época e forma recomendadas.
17. Qualificação de mão de obra.
18. Acesso a procedimentos industriais que agreguem tecnologia, qualidade e valor à madeira.
19. Prevenção e controle de pragas e doenças.
20. Ocorrência e minimização de impactos de eventos abióticos, como fogo, vento e déficit hídrico.
21. Oportunidades com teca em áreas antropizadas da Amazônia e em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

A partir da compreensão das incertezas, sua avaliação e a análise de suas consequências, a análise de risco tem sido convertida em um dos principais fundamentos no ranqueamento de projetos de investimentos e na construção do portfólio de ativos das Timberland Investiment Management Organizations (TIMOs), em escala global.

A questão chave é que conhecer o retorno de um investimento não é suficiente para determinar o seu valor. A valoração de investimentos é uma tarefa bidimensional que envolve um balanceamento entre riscos e retornos. Portanto, a habilidade de definir o que pode acontecer no futuro, avaliar os riscos associados e escolher as melhores alternativas é o "motor" de um sistema de análise de riscos.

Os gestores que, em sua maioria, têm aversão ao risco, demandam que haja um aumento de retorno proporcional ao aumento de risco. Ou seja, para assumir maiores riscos, os gestores exigem mais retorno. As origens dos riscos são variadas, seus efeitos e a instabilidade de um investimento podem ser originados, por exemplo, de fatores políticos, econômicos, naturais ou conjunturais (Antonik, 2004).

Para determinar a viabilidade econômica de projetos florestais com espécies exóticas tradicionais de gêneros como *Pinus* e *Eucalyptus*, diversos trabalhos utilizaram métodos com premissas determinísticas, ou seja, a utilização desta abordagem pressupõe que, sob as mesmas condições iniciais, o modelo produzirá sempre os mesmos resultados. Entretanto, na prática, há incertezas sobre os coeficientes técnicos adotados na modelagem biológica da espécie manejada e sobre os coeficientes financeiros adotados na modelagem do fluxo de caixa.

Análises das probabilidades de retorno de projetos de investimentos com teca podem ser simuladas a partir de uma distribuição de "valores possíveis" para as variáveis mais sensíveis do projeto. Por exemplo, são citadas variáveis tais como: a taxa de câmbio, a taxa anual de desconto (juros), os índices anuais de reajuste nos preços da madeira e o percentual de perdas de produção por ataques de insetos-pragas, doenças, mudanças climáticas ou eventos abióticos (fogo, vento, déficit hídrico, dentre outros).

Em problemas gerenciais, a simulação necessita, em primeiro lugar, da modelagem em termos matemáticos do sistema que se pretende investigar. Como resultado são conhecidas as variáveis e os relacionamentos relevantes do problema, permitindo simular as respostas do sistema às diferentes escolhas da tomada de decisão (Aguiar et al., 2010).

Por outro lado, a simulação se difere do termo modelagem, pois não é simplesmente a reprodução de resultados de um modelo matemático. É, na verdade, uma técnica que permite testar as consequências de alterações nas situações originais em que um modelo foi concebido.

O método de simulação de Monte Carlo, por exemplo, é uma ferramenta matemática comumente utilizada em diversos segmentos da ciência e da engenharia para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos. O método utiliza a geração de números aleatórios, a partir de variáveis de entrada, para obter resultados aproximados de distribuição das variáveis do sistema que se deseja investigar (Agarwal; Virine, 2017). A simulação, então, é repetida várias vezes, até que haja segurança sobre o comportamento característico da variável sobre a qual recairá a decisão. A técnica de simulação de Monte Carlo se tornou uma referência para a análise quantitativa de risco de projetos de investimentos (Wanner, 2013).

Análise econômica

Custos de produção

Sete artigos técnico-científicos foram publicados até 2020, envolvendo custos de produção de teca no Brasil. São eles: Tsukamoto Filho et al. (2003), Ângelo et al. (2009), Sanguino (2009), Sá et al. (2010), Bezerra et al. (2011), Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (2013) e Pires et al. (2020). As idades de rotação utilizadas variaram entre 20-25 anos. Os estados contemplados são: Acre, Goiás, Mato Grosso, Pará e Rondônia.

Os custos apresentados em cada artigo, corrigidos pelo Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) e com idades de rotação ajustadas para 21 anos, podem ser visualizados na Tabela 2. A tabela não contempla os custos de colheita. Assim, foi considerada a comercialização da madeira em pé, para todos os artigos. Não estão também incluídos os custos da terra, cujos valores variaram muito entre os artigos e são muito variáveis dentro de cada Estado.

Os custos da terra geralmente possuem valores extremos em sua valoração. Eles dependem de fatores tais como: localização, topografia, solo, acesso às estradas e custos com conservação e melhorias da área. Vários locais viáveis tecnicamente para o cultivo da teca têm custos de terra muito elevados, especialmente na região Centro-Oeste, devido aos lucros possibilitados com cultivo de grãos. A terra possui custos que tendem a impactar fortemente o fluxo de caixa dos cultivos florestais. Áreas de alta produtividade agrícola e logística facilitada, muito comuns em Goiás e Mato Grosso, em 2020 apresentaram preços de arrendamento (ano) que ultrapassaram R$ 2.750,00 por ano (usado como referência 20-22 sacas ha^{-1} de soja), ou seja, R$ 55 mil para um ciclo de 21 anos com teca. Este valor representa o dobro ou triplo dos demais custos apresentados na Tabela 2. Por outro lado, muitas áreas com potencial de alta produção de teca, bastante extensas no Brasil, possuem preços baixos. Com a realização da análise econômica de um projeto com teca, em função da rentabilidade potencial, o produtor terá informações sobre valores viáveis para arrendamento para a espécie.

As variações observadas nos valores totais obtidos em cada artigo, após os ajustes realizados, tiveram influência das épocas e dos âmbitos em que os projetos foram concebidos. Entretanto, são resultantes principalmente de diferentes critérios adotados pelos autores, na elaboração dos custos de produção. Esta diversidade de critérios amplia o leque de opções para os produtores, possibilitando que os artigos deixem contribuições ainda maiores ao setor produtivo, no contexto em que eles se tornam complementares, em termos das informações disponibilizadas, como será resumidamente destacado a seguir.

Tabela 2. Custos anuais de produção de teca, em R$ ha^{-1}, atualizados pelo IGP-M para dezembro de 2020.

Custos anuais de produção de teca (R$ ha^{-1})								
	Autores/Estado							
Idade (anos)	Tsukamoto Filho et al. (2003) / Mato Grosso	Ângelo et al. (2009) / Mato Grosso	Sanguino (2009) / Pará	Sá et al. (2010) / Acre e Rondônia	Bezerra et al. (2011) / Mato Grosso	Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (2013)/ Mato Grosso	Pires et al. (2020) / Goiás	Média
0	4.593,00	8.319,00	13.655,00	8.179,00	7.079,00	9.262,00	23.922,00	10.716,00
1	1.544,00	1.891,00	6.520,00	2.085,00	2.102,00	1.134,00	859,00	2.305,00
2	1.438,00	1.134,00	430,00	2.383,00	1.770,00	1.565,00	859,00	1.369,00
3	1.438,00	755,00	430,00	813,00	1.327,00	1.249,00	859,00	982,00
4	1.523,00	378,00	314,00	1.236,00	1.327,00	222,00	859,00	837,00
5	766,00	378,00	314,00	370,00	1.327,00	1.340,00	859,00	764,00
6	588,00	378,00	314,00	370,00	1.327,00	1.238,00	859,00	725,00
7	588,00	378,00	314,00	185,00	1.327,00	1.238,00	402,00	634,00
8	675,00	378,00	314,00	407,00	1.327,00	1.238,00	402,00	678,00
9	588,00	378,00	314,00	236,00	1.327,00	1.249,00	402,00	642,00
10	588,00	378,00	314,00	347,00	1.327,00	222,00	402,00	512,00
11	588,00	378,00	314,00	347,00	1.327,00	1.339,00	387,00	669,00
12	675,00	378,00	314,00	386,00	1.327,00	1.241,00	387,00	672,00
13	588,00	378,00	314,00	185,00	1.327,00	1.241,00	387,00	631,00
14	588,00	378,00	314,00	278,00	1.327,00	1.249,00	387,00	646,00
15	588,00	378,00	314,00	307,00	1.327,00	222,00	387,00	504,00
16	588,00	378,00	314,00	264,00	1.327,00	1.339,00	273,00	641,00
17	588,00	378,00	314,00	264,00	1.327,00	1.241,00	273,00	626,00
18	588,00	378,00	314,00	225,00	1.327,00	1.241,00	273,00	621,00
19	588,00	378,00	314,00	185,00	1.327,00	1.241,00	273,00	615,00
20	588,00	378,00	314,00	264,00	1.327,00	1.241,00	273,00	626,00
21	588,00	378,00	314,00	264,00	1.327,00	147,00	273,00	470,00
Total	**20.888,00**	**18.909,00**	**26.691,00**	**19.579,00**	**36.171,00**	**31.699,00**	**34.255,00**	**26.885,00**
Total (VPL*)	**17.280,00**	**16.677,00**	**24.739,00**	**17.709,00**	**28.710,00**	**25.917,00**	**32.092,00**	**23.304,00**

Observação: Não foram incluídos "Valor da Terra" e "Custos de Colheita"

*VPL = Valor Presente Líquido com taxa de atratividade de 3% ao ano.

Tsukamoto Filho et al. (2003), trabalhando com dados do estado do Mato Grosso, consideraram custos iniciais: os serviços de topografia, a construção de cercas, estradas e aceiros e o combate inicial às formigas. Consideraram produzir as próprias mudas, no sistema conhecido como "toco de raiz nua". Apesar de reduzir custos, esta atividade sempre deverá ser avaliada em função da disponibilidade no mercado de mudas com material genético melhorado. Nas operações de preparo do terreno, os custos considerados foram: derrubada da vegetação, enleiramento, aração, gradagem e combate às formigas. Para o plantio, foram considerados os custos com replantio, adubação, aplicação de calcário e transporte, além dos custos com o próprio plantio das mudas. Para a manutenção do plantio, no primeiro ano, foram considerados: o combate intensivo à formiga, o controle de plantas invasoras, o transporte de mudas e a eliminação de brotações das mudas. Do segundo ao quarto ano, foram consideradas as atividades de combate às formigas, controle de plantas invasoras (roçada) e transporte de mão de obra. A partir do segundo ano, até a árvore atingir altura comercial (8 m), consideraram custos com a realização de desramas. Outros custos envolveram: adubações de manutenção após os desbastes, conservação de estradas, aceiros e cercas, vigilância e administração.

Ângelo et al. (2009) trabalharam com dados do norte do estado do Mato Grosso e concentraram forte foco na engenharia econômica, buscando valorar o povoamento de teca ao longo da rotação, identificar a época da maturidade financeira do povoamento, estimar o preço mínimo de venda da madeira em pé, verificar a expectativa de preço da teca na ótica de investidores e fornecer subsídios econômicos à tomada de decisão. No trabalho não foi considerado custo da terra.

Sanguino (2009) desenvolveu o trabalho no estado do Pará. Ele foi o único que considerou nos custos iniciais, a construção de uma casa, galpão e garagem. O autor relatou que a inclusão destes itens era "razoável e compatível com o pequeno e médio produtor florestal da região, que tinha acesso aos vários programas de créditos do Banco da Amazônia S.A.", que administrava recursos do Fundo Constitucional do Norte (FNO) destinados à produção rural. Entretanto, com valores representando 51% dos custos de todo o projeto, eles foram excluídos da presente análise. Assim, no ano inicial (Ano 0), os custos foram constituídos pelos gastos com: cerca de arame, documentação (licença, taxas e projeto) e aquisição de máquinas/equipamentos (itens que sofreram depreciação linear, considerando-se a vida útil e a reposição baseada nos preços de aquisição). No Ano 1, o custo total envolveu todas as atividades operacionais, tais como: preparo do solo, abertura de covas, adubação e plantio. O autor destaca que, para o custo de produção e elaboração do orçamento, foi adotada a metodologia proposta por Matsunaga et al. (1976) e Noronha (1987), que permite obter o

custo operacional efetivo (COE) e o Custo Operacional Total (COT). O COE é constituído pela soma das despesas diretas de custeio, incorridas pelo produtor na condução de sua atividade rural, tais como: mão de obra, maquinaria, combustíveis, lubrificantes, insumos (mudas, adubos, defensivos), transportes, entre outras operações silviculturais. O COT inclui a soma do COE acrescida dos encargos sociais da mão de obra. Os custos que ocorrem anualmente durante todo o ciclo do projeto se referem ao Custo Operacional Total (COT) e contemplam os custos com: hora-máquina, insumos, depreciação e mão de obra (considerada fixa, não flexível e remunerada mensalmente).

Sá et al. (2010) trabalharam com dados dos estados do Acre e de Rondônia. Foram utilizadas informações de cinco empresas florestais, envolvidas com os plantios de teca nestes estados, três prestadores de serviços de máquinas agrícolas e nove estabelecimentos comerciais que trabalham com atividades agropecuárias na região. Para a operação de preparo do solo, foi considerada a locação de máquinas agrícolas para a implantação do povoamento de teca em uma área de pastagens, com idade mínima de dez anos. Para o preparo do solo, foram considerados os custos com a realização da gradagem, em duas operações, com intervalo de 30 dias e, para o plantio, os custos com marcação das linhas para as referidas densidades e de transporte das mudas. As mudas foram cotadas para aquisição em empresas existentes na região, com o valor baseado no sistema de "toco de raiz nua". Nas operações que envolveram máquinas agrícolas e veículos, o artigo considera a locação dos equipamentos. Foram também incluídos cálculos de depreciação de itens tais como: ferramentas, equipamentos de segurança, máquinas, implementos e utensílios em geral utilizados no imóvel rural. A operação de desrama foi considerada a partir do segundo ano, até as árvores atingirem altura comercial de 8 m, podendo se estender até o nono ano, após a instalação do povoamento. Sobre preços de madeira, os autores observaram que a maioria dos negócios com madeira de teca originária das Américas, geralmente, é praticada com valores 30% menores que aqueles negociados com madeira asiática, cerca de 10% menores que aqueles praticados com a teca da África e que praticamente não existe comércio internacional para madeira de teca com menos de 12 anos.

Bezerra et al. (2011) trabalharam com dados do estado do Mato Grosso. Os custos iniciais com implantação (Ano 0) se referem aos custos de preparo do terreno, envolvendo derrubada da vegetação, enleiramento, aração, gradagem e combate às formigas. Os custos de manutenção no primeiro ano são decorrentes do controle de plantas invasoras e pragas. Esses custos são maiores no primeiro ano. A partir do segundo ano, surgem os custos com: desramas; adubações de manutenção; conservação de estradas, aceiros e cercas; vigilância e administração, contando do primeiro ano até a idade de corte. Esta composição de custos

considerou alguns itens não contemplados nos outros trabalhos, elevando o custo de manutenção do projeto, para o equivalente a 75% do custo total, considerando-se o valor presente líquido (VPL) com taxa de atratividade de 3% ao ano.

A Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (Famato) apresentou o primeiro Diagnóstico de Florestas Plantadas do Estado de Mato Grosso, realizado pelo Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), órgão que faz parte do "Sistema Famato". O trabalho teve apoio do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar, MT). O custo de produção de teca teve por base a coleta de informações em reuniões – painéis – com a participação de engenheiros florestais, empresários do setor madeireiro e produtores florestais. O trabalho envolveu, também, a avaliação tanto do mercado florestal quanto dos aspectos legais e tributários que abrangem o setor. O custo de manutenção do projeto foi 64% do custo total, considerando-se o VPL com taxa de atratividade de 3% ao ano. Dois anos depois, Imea, Senar e Embrapa (2015) apresentaram o custo modal de produção também construído pelo Imea, a partir de "Painéis de custo de produção", realizados nos municípios de Cáceres e Tangará da Serra, ambos no estado do Mato Grosso. Este trabalho colocou tanto a teca quanto o eucalipto em um contexto amplo de análise, que envolveu informações de 36 painéis de custos de produção, com a participação dos principais agentes da cadeia produtiva das principais culturas agrícolas do Estado, bem como de bovinocultura e piscicultura. A atualização, pelo IGP-M de dezembro de 2020, da somatória dos custos de teca e de seu VPL apresentados no trabalho indicaram valores próximos aqueles das médias (Tabela 2). Entretanto, seus dados não foram incluídos na mesma porque, apesar de as despesas estarem detalhadas em tabelas, elas foram discriminadas anualmente no trabalho de forma gráfica, o que impossibilitou a obtenção dos valores anuais exatos.

Pires et al. (2020) desenvolveram o trabalho com dados do sudeste do estado de Goiás. Os autores destacam que os custos com o plantio corresponderam a 50,3% do total investido. Estes autores consideraram o custo de oportunidade da terra e ainda custos com colheita. Na Tabela 2, na qual estes custos foram excluídos, o percentual de gastos com o plantio atinge 70% do valor total do projeto. Custos com mão de obra e, principalmente, das mudas foram os que elevaram o valor no ano inicial. Os itens de manutenção das florestas incluíram os tratos silviculturais básicos, tais como: construção de aceiros, desramas, aplicação de fungicidas e herbicidas, além de equipamentos utilizados nestes determinados fins. Os custos de manutenção foram maiores no período do primeiro ao sexto ano, devido aos trabalhos com aceiros realizados anualmente, especialmente na redução de materiais combustíveis, visando à prevenção de incêndios.

Dos sete trabalhos analisados, Sanguino (2009) teve o segundo maior valor no ano inicial de plantio. Isto ocorreu devido à aquisição de algumas máquinas, equipamentos, ferramentas e insumos. Bezerra et al. (2011) tiveram os maiores valores nos custos anuais, ampliados em função da inclusão de custos com conservação de estradas, aceiros e cercas, vigilância, administração. Pires et al. (2020) tiveram os maiores custos iniciais, devido aos investimentos em material genético de qualidade e à adoção de práticas preventivas aos incêndios, itens cada vez mais fundamentais na composição dos sistemas de produção florestal. A média dos custos de manutenção dos projetos foi 64% do custo total, considerando-se o VPL com taxa de atratividade de 3% ao ano.

O software Planin® e a análise econômica de uma plantação de teca

O software Planin® efetua cálculos de parâmetros de análise econômica da produção madeireira de plantações florestais. O sistema gera inicialmente uma planilha com o fluxo de caixa do projeto. Em seguida, apresenta os valores dos principais parâmetros de análise econômica utilizados no mercado, e mostra três tabelas com análise de sensibilidade da rentabilidade para diferentes taxas de atratividade (taxa de juros), preços da madeira e custos de produção. Um relatório de gastos anuais envolvidos no projeto também é gerado pelo software.

Critérios de Avaliação Econômica usados no Planin®

Estes critérios estão apresentados no manual do software. São eles: valor presente líquido (VPL), valor presente líquido anualizado (VPLA), taxa interna de retorno (TIR), razão benefício/custo (B/C) e valor esperado da terra (VET). Na tabela de resultados do Planin® também são apresentados: preço médio da produção, receita total, receita total líquida, receita total média, custo total, custo total médio por ano, receita líquida média, valor presente da receita, valor presente dos custos e rentabilidade líquida em porcentagem.

Análise de sensibilidade

O Planin® gera três tabelas de análise de sensibilidade, mostrando a rentabilidade econômica em função de variações na taxa de juros, custos de produção e preços diversos.

A tabela de taxa de juros apresentará os cálculos para juros de 1% a 20%, a cada 1%. As outras duas tabelas trabalham com variações de 5%, aplicando este percentual sobre os valores obtidos com os dados informados pelo usuário, dez vezes em ordem crescente e dez vezes em ordem decrescente. Assim, por exemplo, para um custo de produção de R$ 10.000,00, a tabela mostrará resultados de R$ 5.000,00 a R$ 15.000,00, a cada R$ 500,00, para os parâmetros VPL, VPLA e B/C.

Descrição e aplicação do software Planin®

A descrição e a aplicação do Planin® serão apresentadas por meio da análise de uma plantação de teca, com os valores médios dos custos de produção apresentados na Tabela 2. A estes valores foi acrescentado o custo de arrendamento da terra de R$ 750,00 ha^{-1} ano^{-1}, valor este intermediário aos apresentados pelos artigos analisados, com a correção para o IGP-M de dezembro de 2020.

Os dados de produção madeireira foram gerados pelo software SisTeca®. Para isto, foi considerado o plantio de 1.111 árvores ha^{-1} (espaçamento de 3 m x 3 m), com índice de sítio (dado pela altura dominante, aos 15 anos de idade) de 20 m. Considerou-se um regime de manejo com três desbastes seletivos de 30% das menores árvores, aos 5 anos, 10 anos e 15 anos e, colheita final, aos 21 anos. As produções estão separadas por diâmetros de toras: A) maiores que 25 cm, B) entre 18-25 cm, C) entre 8-18 cm e D) < 8 cm. As toras foram consideradas com 2,6 m de comprimento (Tabela 3). Os valores resultantes do fluxo de custos e de produção madeireira estão apresentados na Tabela 3.

Para a análise econômica, serão considerados dois cenários de preços por m^3 de madeira em pé, em função de diâmetros das toras. No primeiro, toras com diâmetros maiores que 25 cm serão cotadas e remuneradas a R$ 300,00 m^{-3}; entre 18-25 cm a R$ 200,00 m^{-3}; entre 8-18 cm, R$ 100,00 m^{-3} e menores que 8 cm remuneradas a R$ 50,00 m^{-3}. O segundo cenário irá considerar um acréscimo de 30% nos preços das toras, mantendo todos os demais itens constantes.

A tela inicial do Planin® mostra itens para o gerenciamento de arquivos, opções para acesso às telas de entrada de dados e informações sobre o projeto a ser analisado (Figura 2).

Os preços da madeira em função do sortimento para o primeiro cenário utilizado como exemplo de aplicação do software são apresentados na Figura 3.

Tabela 3. Custos anuais (R$ ha^{-1}) e produções de madeira (m^3 ha^{-1}) em função de dimensões de tora de teca, nos desbastes e na colheita final.

Idade (anos)	Custos sem terra	Custos com terra	> 25 cm	18-25 cm	8-18 cm	< 8 cm
0	10.716,00	10.716,00				
1	2.305,00	3.055,00				
2	1.369,00	2.119,00				
3	982,00	1.732,00				
4	837,00	1.587,00				
5	764,00	1.514,00			23,60	4,70
6	725,00	1.475,00				
7	634,00	1.384,00				
8	678,00	1.428,00				
9	642,00	1.392,00				
10	512,00	1.262,00		30,60	35,50	3,30
11	669,00	1.419,00				
12	672,00	1.422,00				
13	631,00	1.381,00				
14	646,00	1.396,00				
15	504,00	1.254,00	20,60	49,00	21,20	3,00
16	641,00	1.391,00				
17	626,00	1.376,00				
18	621,00	1.371,00				
19	615,00	1.365,00				
20	626,00	1.376,00				
21	470,00	1.220,00	222,50	80,40	36,70	8,80
Total	**26.885,00**	**42.635,00**				

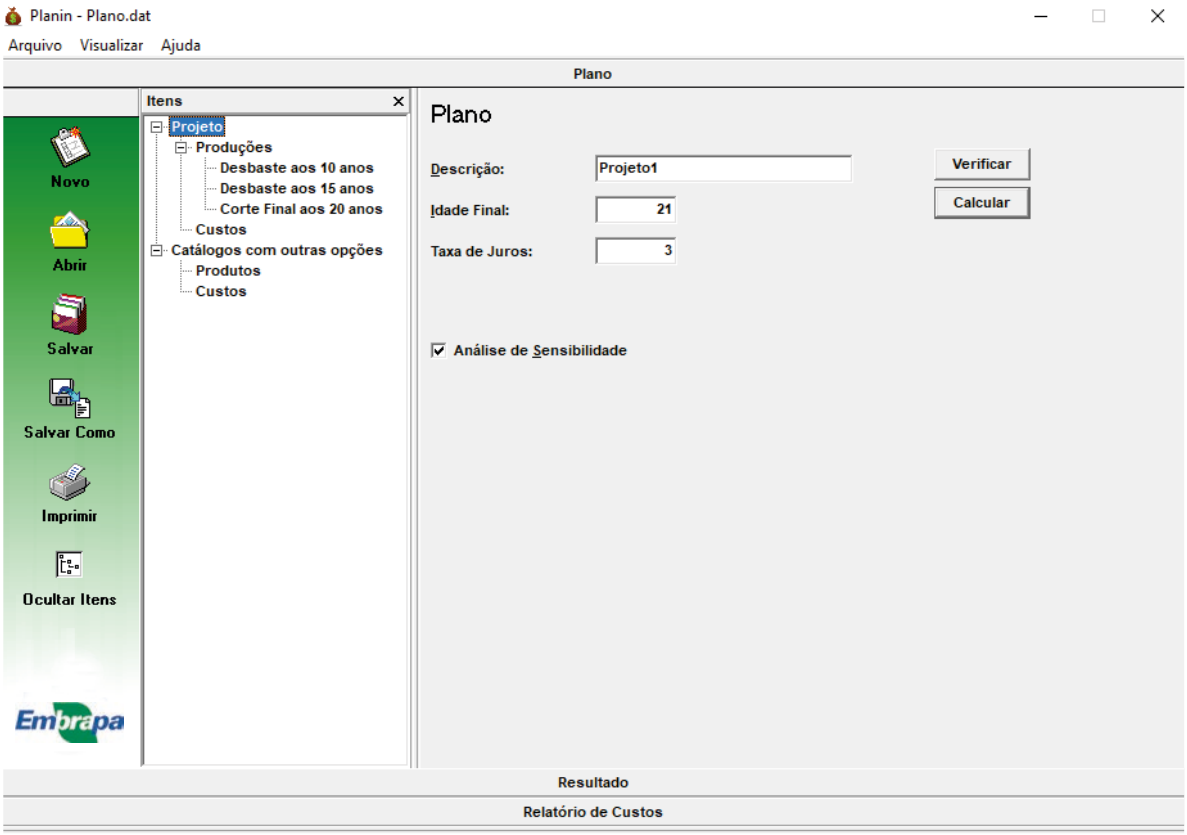


Figura 2. Tela inicial do software Planin®.

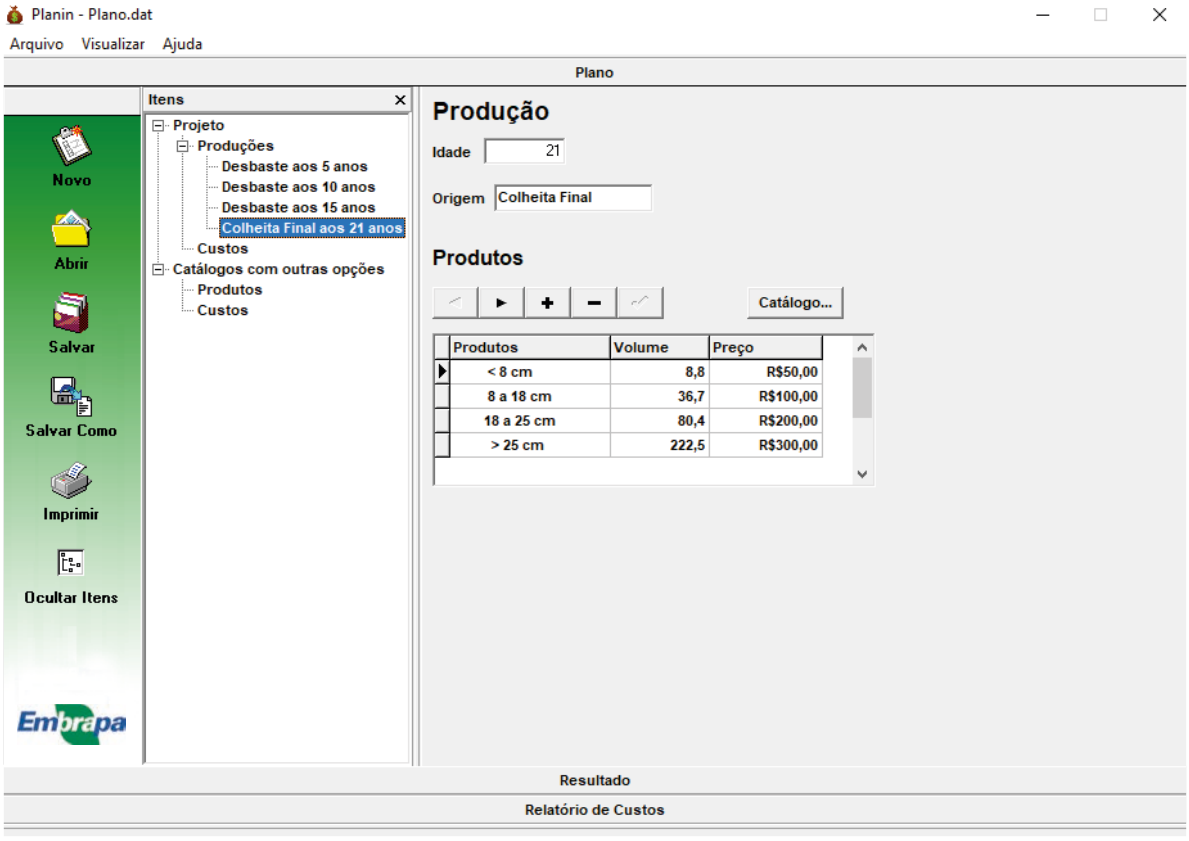


Figura 3. Tela para inserção de informações de produção e de preços da madeira, mostrando os dois cenários de preços considerados.

Na tela apresentada na Figura 4, o usuário informa os custos de produção. A segunda tabela, referente aos custos anuais, aparece quando o item marcado possui tipo de custo anual. Por meio dela, o usuário informa a idade de ocorrência e o valor da despesa. Quando o tipo de custo é unitário, o valor é informado na primeira tabela.

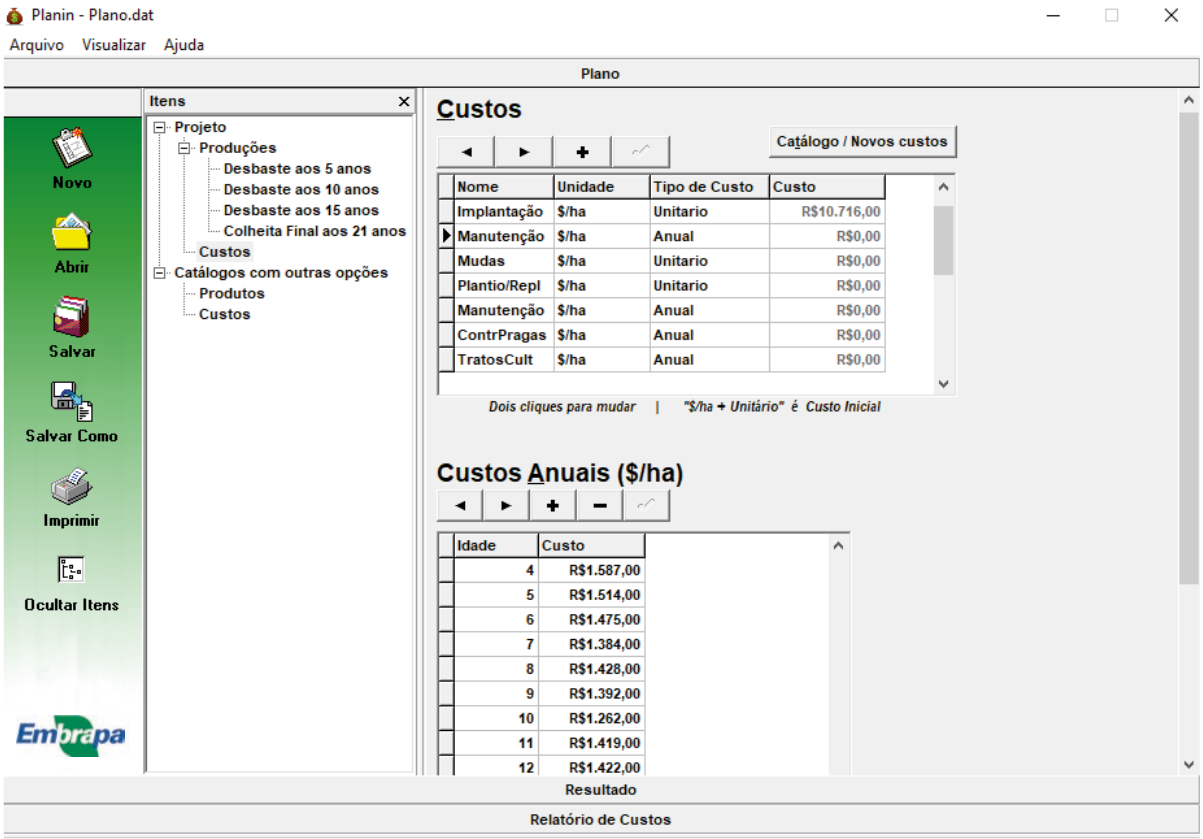
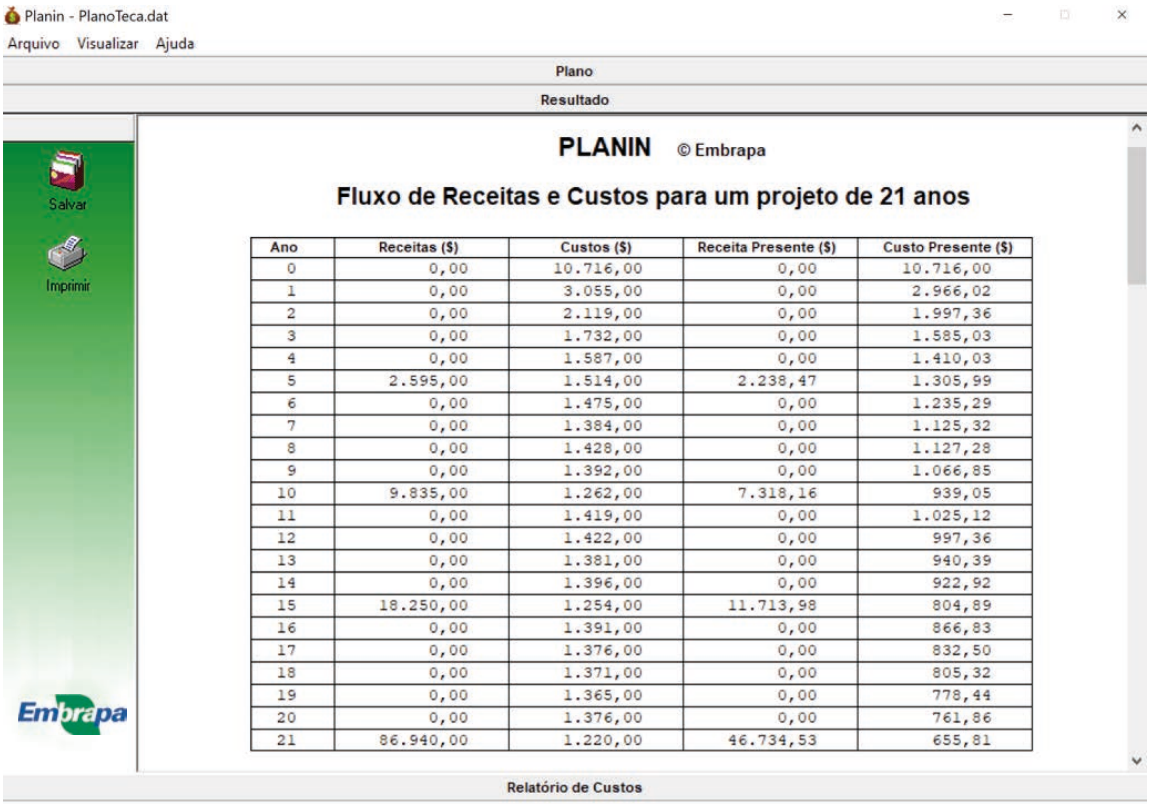


Figura 4. Tela com informações sobre custos.

Os preços de madeira podem sofrer grandes variações, principalmente em função da localização das plantações. Assim, uma das análises de sensibilidade realizadas pelo Planin® é para os valores pagos pela madeira, possibilitando que sejam avaliados preços entre 55-150% do valor médio indicado na análise, com variação a cada 5%. Esse mesmo procedimento de análise de sensibilidade é aplicado para os custos de produção. Para as taxas de atratividade, os valores variam entre 1-20%, a cada 1%.

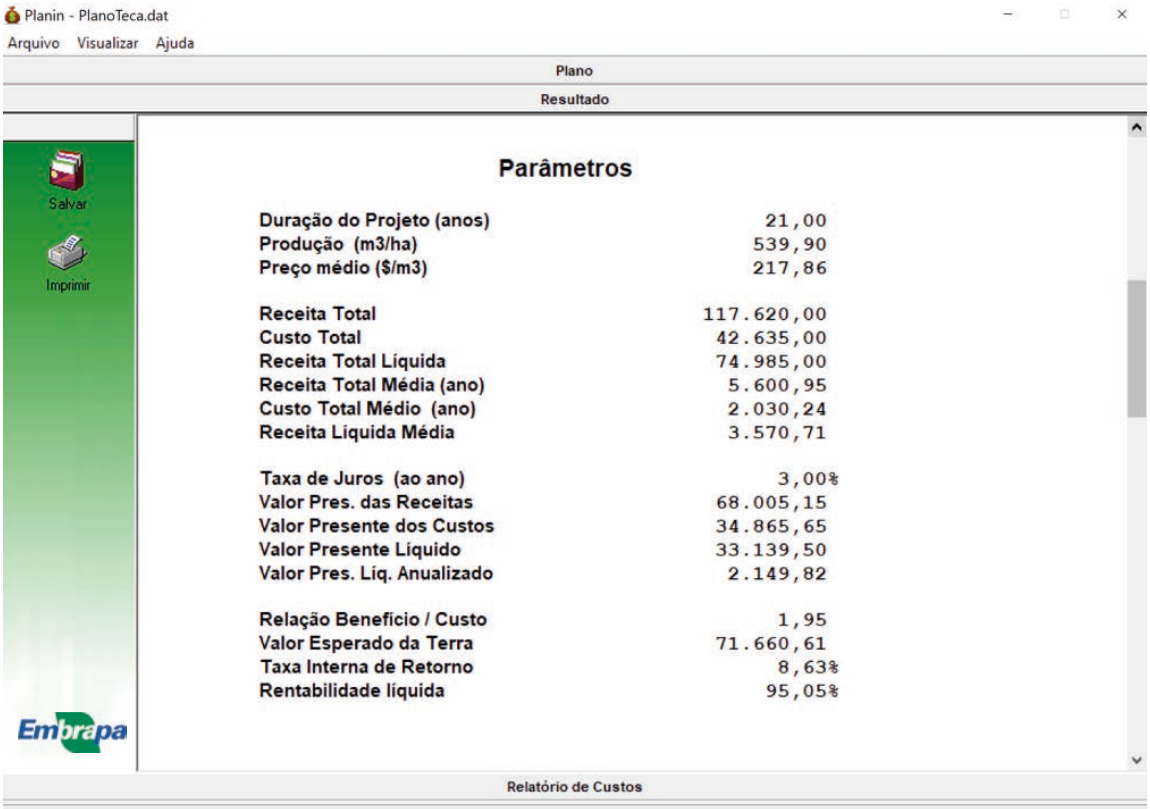
Os resultados para o cenário de preços 1 são apresentados na Figura 5, sendo: A) fluxo de receitas e custos, B) parâmetros de análise econômica, C) análise de sensibilidade para taxa de juros, D) análise de sensibilidade para preço da madeira e E) análise de sensibilidade para custos.

A



Ano	Receitas ($)	Custos ($)	Receita Presente ($)	Custo Presente ($)
0	0,00	10.716,00	0,00	10.716,00
1	0,00	3.055,00	0,00	2.966,02
2	0,00	2.119,00	0,00	1.997,36
3	0,00	1.732,00	0,00	1.585,03
4	0,00	1.587,00	0,00	1.410,03
5	2.595,00	1.514,00	2.238,47	1.305,99
6	0,00	1.475,00	0,00	1.235,29
7	0,00	1.384,00	0,00	1.125,32
8	0,00	1.428,00	0,00	1.127,28
9	0,00	1.392,00	0,00	1.066,85
10	9.835,00	1.262,00	7.318,16	939,05
11	0,00	1.419,00	0,00	1.025,12
12	0,00	1.422,00	0,00	997,36
13	0,00	1.381,00	0,00	940,39
14	0,00	1.396,00	0,00	922,92
15	18.250,00	1.254,00	11.713,98	804,89
16	0,00	1.391,00	0,00	866,83
17	0,00	1.376,00	0,00	832,50
18	0,00	1.371,00	0,00	805,32
19	0,00	1.365,00	0,00	778,44
20	0,00	1.376,00	0,00	761,86
21	86.940,00	1.220,00	46.734,53	655,81

B



Duração do Projeto (anos)	21,00
Produção (m3/ha)	539,90
Preço médio ($/m3)	217,86
Receita Total	117.620,00
Custo Total	42.635,00
Receita Total Líquida	74.985,00
Receita Total Média (ano)	5.600,95
Custo Total Médio (ano)	2.030,24
Receita Líquida Média	3.570,71
Taxa de Juros (ao ano)	3,00%
Valor Pres. das Receitas	68.005,15
Valor Presente dos Custos	34.865,65
Valor Presente Líquido	33.139,50
Valor Pres. Liq. Anualizado	2.149,82
Relação Benefício / Custo	1,95
Valor Esperado da Terra	71.660,61
Taxa Interna de Retorno	8,63%
Rentabilidade líquida	95,05%

C

Planin - Plano.dat

Arquivo Visualizar Ajuda

Plano

Resultado

Salvar

Imprimir

Relação Benefício / Custo	1,95
Valor Esperado da Terra	71.660,61
Taxa Interna de Retorno	8,63%
Rentabilidade líquida	95,05%

Análise de Sensibilidade para Taxa de Juros

Juros (% ano)	Valor Presente Líquido	V. Pres. Líq. Anualizado	Relação Benef./Custo
1,00	57.975,20	3.074,47	2,46
2,00	44.245,08	2.600,94	2,19
3,00	33.139,50	2.149,82	1,95
4,00	24.139,20	1.720,64	1,73
5,00	16.831,62	1.312,80	1,54
6,00	10.888,17	925,54	1,37
7,00	6.046,51	558,03	1,21
8,00	2.096,71	209,32	1,08
9,00	-1.129,62	-121,57	0,96
10,00	-3.767,83	-435,65	0,85
11,00	-5.926,98	-733,99	0,76
12,00	-7.695,15	-1.017,61	0,68
13,00	-9.143,60	-1.287,55	0,60
14,00	-10.330,11	-1.544,81	0,54
15,00	-11.301,65	-1.790,37	0,48
16,00	-12.096,46	-2.025,14	0,43
17,00	-12.745,74	-2.250,01	0,39
18,00	-13.275,01	-2.465,79	0,35
19,00	-13.705,16	-2.673,25	0,32
20,00	-14.053,34	-2.873,12	0,29

Relatório de Custos

D

Planin - Plano.dat

Arquivo Visualizar Ajuda

Plano

Resultado

Salvar

Imprimir

Análise de Sensibilidade para Preço da Produção

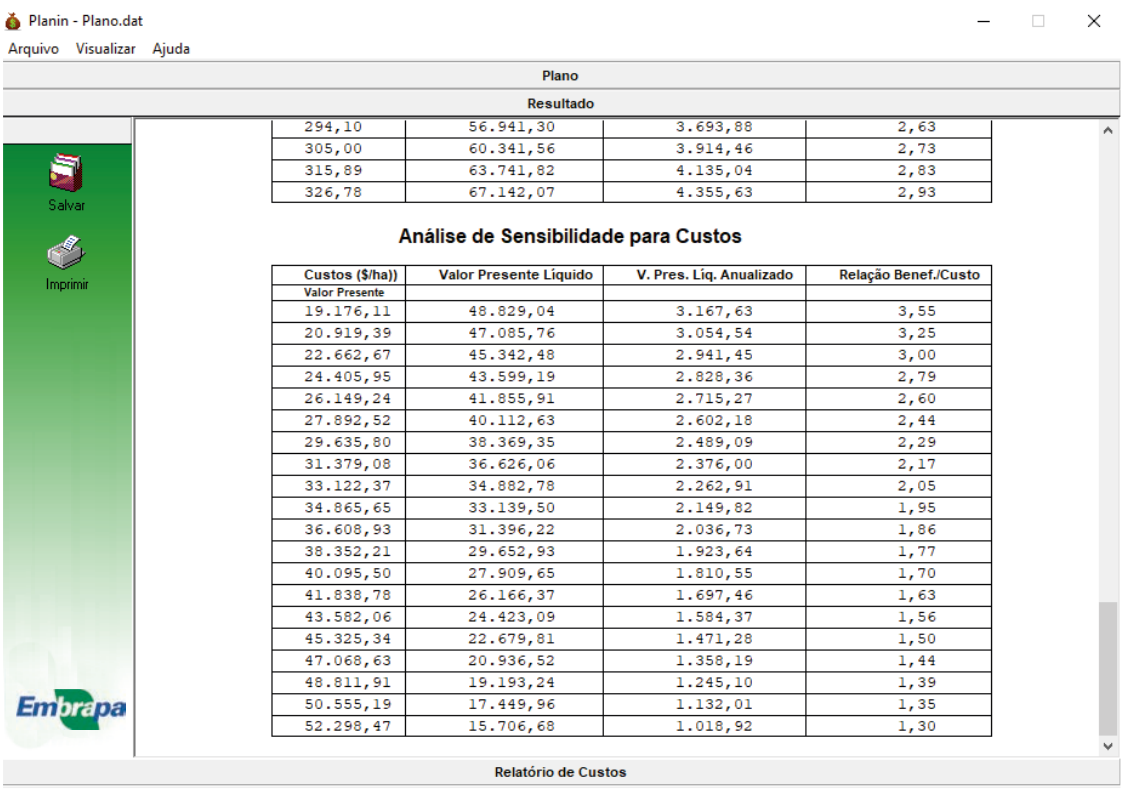
Preço ($/m3)	Valor Presente Líquido	V. Pres. Líq. Anualizado	Relação Benef./Custo
119,82	2.537,18	164,59	1,07
130,71	5.937,44	385,17	1,17
141,61	9.337,70	605,75	1,27
152,50	12.737,96	826,33	1,37
163,39	16.138,21	1.046,91	1,46
174,28	19.538,47	1.267,50	1,56
185,18	22.938,73	1.488,08	1,66
196,07	26.338,98	1.708,66	1,76
206,96	29.739,24	1.929,24	1,85
217,86	33.139,50	2.149,82	1,95
228,75	36.539,76	2.370,40	2,05
239,64	39.940,01	2.590,98	2,15
250,53	43.340,27	2.811,56	2,24
261,43	46.740,53	3.032,14	2,34
272,32	50.140,79	3.252,72	2,44
283,21	53.541,04	3.473,30	2,54
294,10	56.941,30	3.693,88	2,63
305,00	60.341,56	3.914,46	2,73
315,89	63.741,82	4.135,04	2,83
326,78	67.142,07	4.355,63	2,93

Análise de Sensibilidade para Custos

Custos ($/ha))	Valor Presente Líquido	V. Pres. Líq. Anualizado	Relação Benef./Custo
Valor Presente			
19.176,11	48.829,04	3.167,63	3,55
20.919,39	47.085,76	3.054,54	3,25

Relatório de Custos

E



294,10	56.941,30	3.693,88	2,63
305,00	60.341,56	3.914,46	2,73
315,89	63.741,82	4.135,04	2,83
326,78	67.142,07	4.355,63	2,93

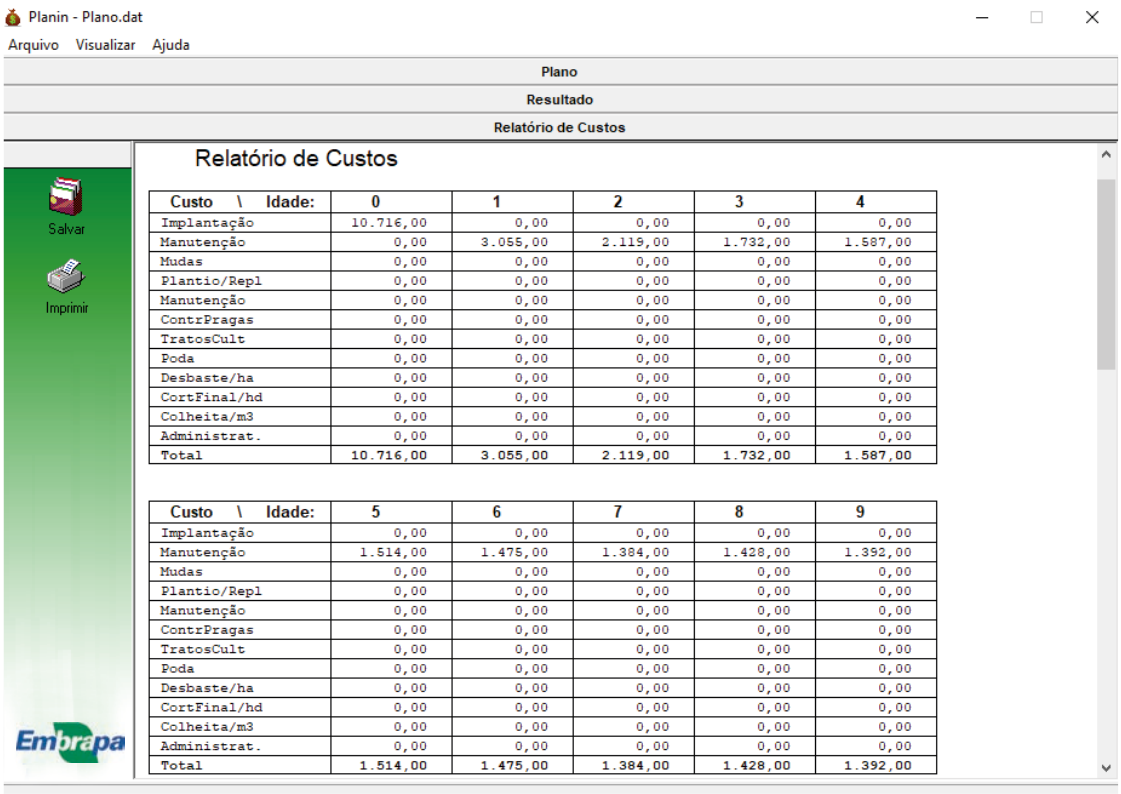
Análise de Sensibilidade para Custos

Custos ($/ha))	Valor Presente Líquido	V. Pres. Líq. Anualizado	Relação Benef./Custo
Valor Presente			
19.176,11	48.829,04	3.167,63	3,55
20.919,39	47.085,76	3.054,54	3,25
22.662,67	45.342,48	2.941,45	3,00
24.405,95	43.599,19	2.828,36	2,79
26.149,24	41.855,91	2.715,27	2,60
27.892,52	40.112,63	2.602,18	2,44
29.635,80	38.369,35	2.489,09	2,29
31.379,08	36.626,06	2.376,00	2,17
33.122,37	34.882,78	2.262,91	2,05
34.865,65	33.139,50	2.149,82	1,95
36.608,93	31.396,22	2.036,73	1,86
38.352,21	29.652,93	1.923,64	1,77
40.095,50	27.909,65	1.810,55	1,70
41.838,78	26.166,37	1.697,46	1,63
43.582,06	24.423,09	1.584,37	1,56
45.325,34	22.679,81	1.471,28	1,50
47.068,63	20.936,52	1.358,19	1,44
48.811,91	19.193,24	1.245,10	1,39
50.555,19	17.449,96	1.132,01	1,35
52.298,47	15.706,68	1.018,92	1,30

Figura 5. Resultados para o cenário de preços 1, sendo: fluxo de receitas e custos (A), parâmetros de análise econômica (B), análise de sensibilidade para taxa de juros (C), análise de sensibilidade para preço da madeira (D) e análise de sensibilidade para custos (E).

O relatório de custos, com geração de resultados anuais, é parcialmente apresentado na Figura 6.

A

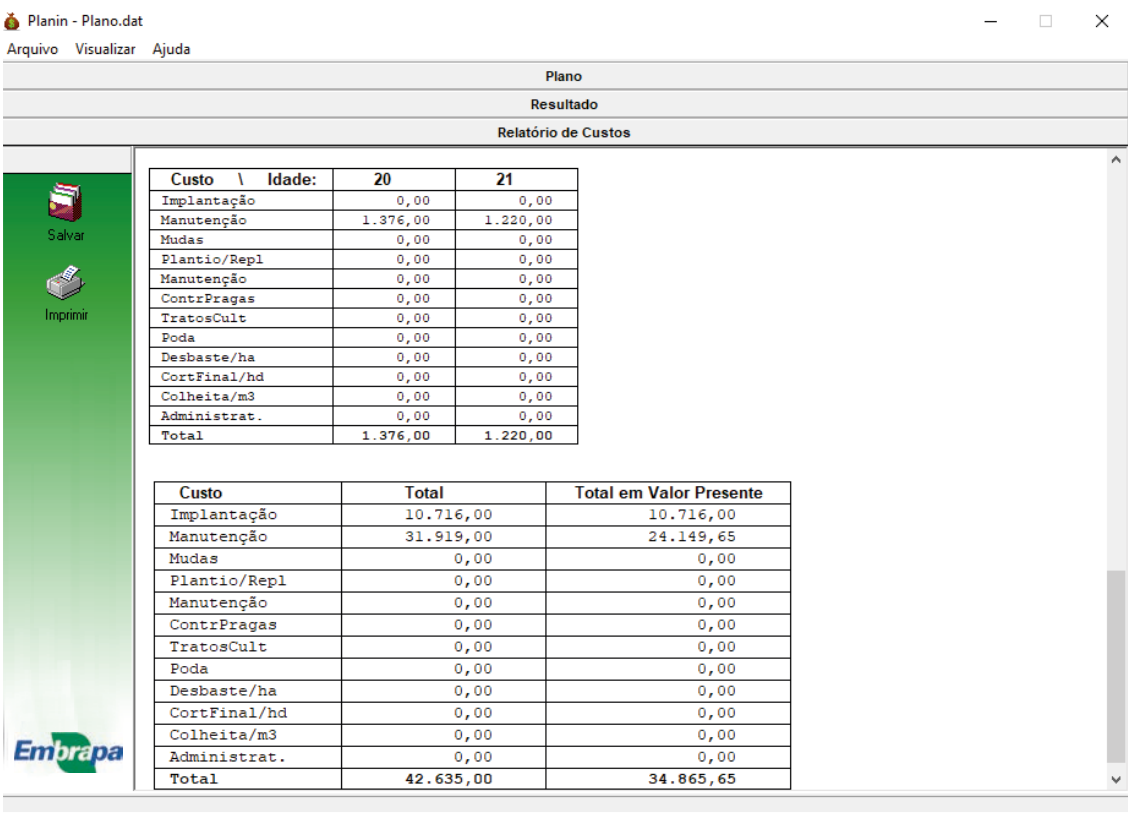


Relatório de Custos

Custo \ Idade:	0	1	2	3	4
Implantação	10.716,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manutenção	0,00	3.055,00	2.119,00	1.732,00	1.587,00
Mudas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plantio/Repl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manutenção	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ContrPragas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TratosCult	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desbaste/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CortFinal/hd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Colheita/m3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Administrat.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	10.716,00	3.055,00	2.119,00	1.732,00	1.587,00

Custo \ Idade:	5	6	7	8	9
Implantação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manutenção	1.514,00	1.475,00	1.384,00	1.428,00	1.392,00
Mudas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plantio/Repl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manutenção	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ContrPragas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TratosCult	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desbaste/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CortFinal/hd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Colheita/m3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Administrat.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1.514,00	1.475,00	1.384,00	1.428,00	1.392,00

B



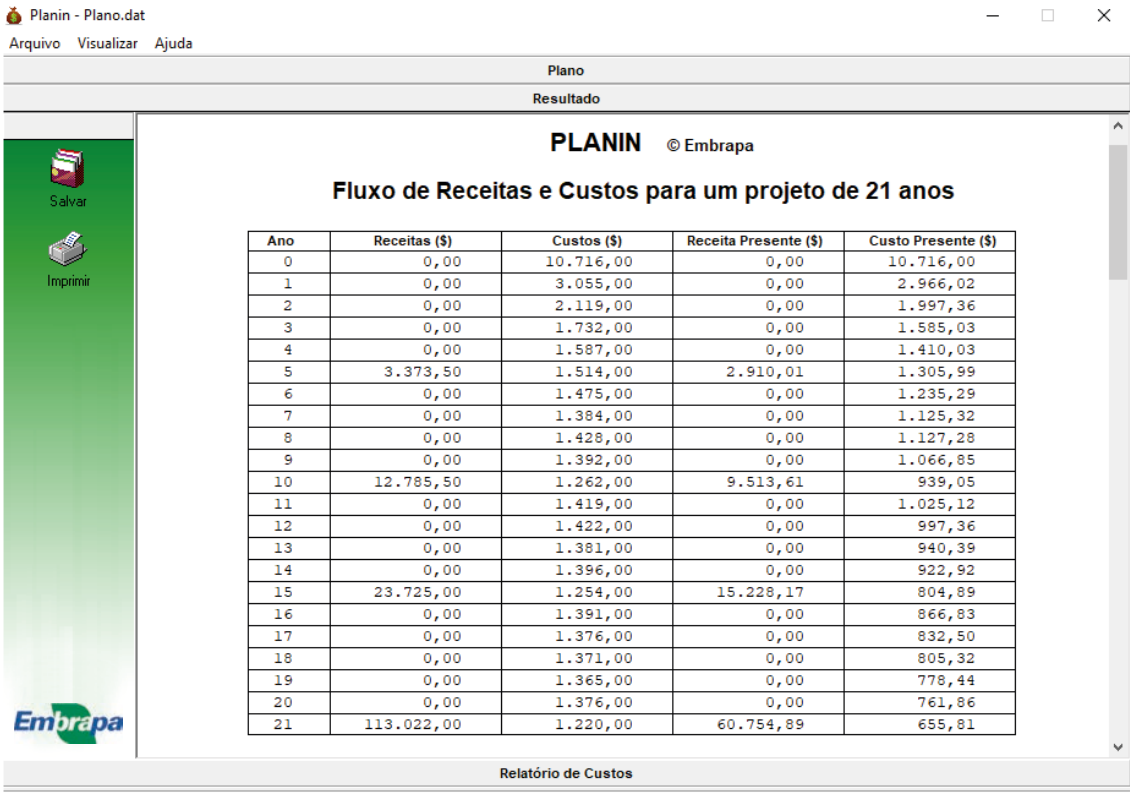
Custo \ Idade:	20	21
Implantação	0,00	0,00
Manutenção	1.376,00	1.220,00
Mudas	0,00	0,00
Plantio/Repl	0,00	0,00
Manutenção	0,00	0,00
ContrPragas	0,00	0,00
TratosCult	0,00	0,00
Poda	0,00	0,00
Desbaste/ha	0,00	0,00
CortFinal/hd	0,00	0,00
Colheita/m3	0,00	0,00
Administrat.	0,00	0,00
Total	1.376,00	1.220,00

Custo	Total	Total em Valor Presente
Implantação	10.716,00	10.716,00
Manutenção	31.919,00	24.149,65
Mudas	0,00	0,00
Plantio/Repl	0,00	0,00
Manutenção	0,00	0,00
ContrPragas	0,00	0,00
TratosCult	0,00	0,00
Poda	0,00	0,00
Desbaste/ha	0,00	0,00
CortFinal/hd	0,00	0,00
Colheita/m3	0,00	0,00
Administrat.	0,00	0,00
Total	42.635,00	34.865,65

Figura 6. Relatório de custos, sendo: início da tabela do relatório de custos (A) e final da tabela de relatório de custos (B).

Os resultados para o Cenário 2 são apresentados, apenas parcialmente, na Figura 7.

A



PLANIN © Embrapa

Fluxo de Receitas e Custos para um projeto de 21 anos

Ano	Receitas ($)	Custos ($)	Receita Presente ($)	Custo Presente ($)
0	0,00	10.716,00	0,00	10.716,00
1	0,00	3.055,00	0,00	2.966,02
2	0,00	2.119,00	0,00	1.997,36
3	0,00	1.732,00	0,00	1.585,03
4	0,00	1.587,00	0,00	1.410,03
5	3.373,50	1.514,00	2.910,01	1.305,99
6	0,00	1.475,00	0,00	1.235,29
7	0,00	1.384,00	0,00	1.125,32
8	0,00	1.428,00	0,00	1.127,28
9	0,00	1.392,00	0,00	1.066,85
10	12.785,50	1.262,00	9.513,61	939,05
11	0,00	1.419,00	0,00	1.025,12
12	0,00	1.422,00	0,00	997,36
13	0,00	1.381,00	0,00	940,39
14	0,00	1.396,00	0,00	922,92
15	23.725,00	1.254,00	15.228,17	804,89
16	0,00	1.391,00	0,00	866,83
17	0,00	1.376,00	0,00	832,50
18	0,00	1.371,00	0,00	805,32
19	0,00	1.365,00	0,00	778,44
20	0,00	1.376,00	0,00	761,86
21	113.022,00	1.220,00	60.754,89	655,81

B

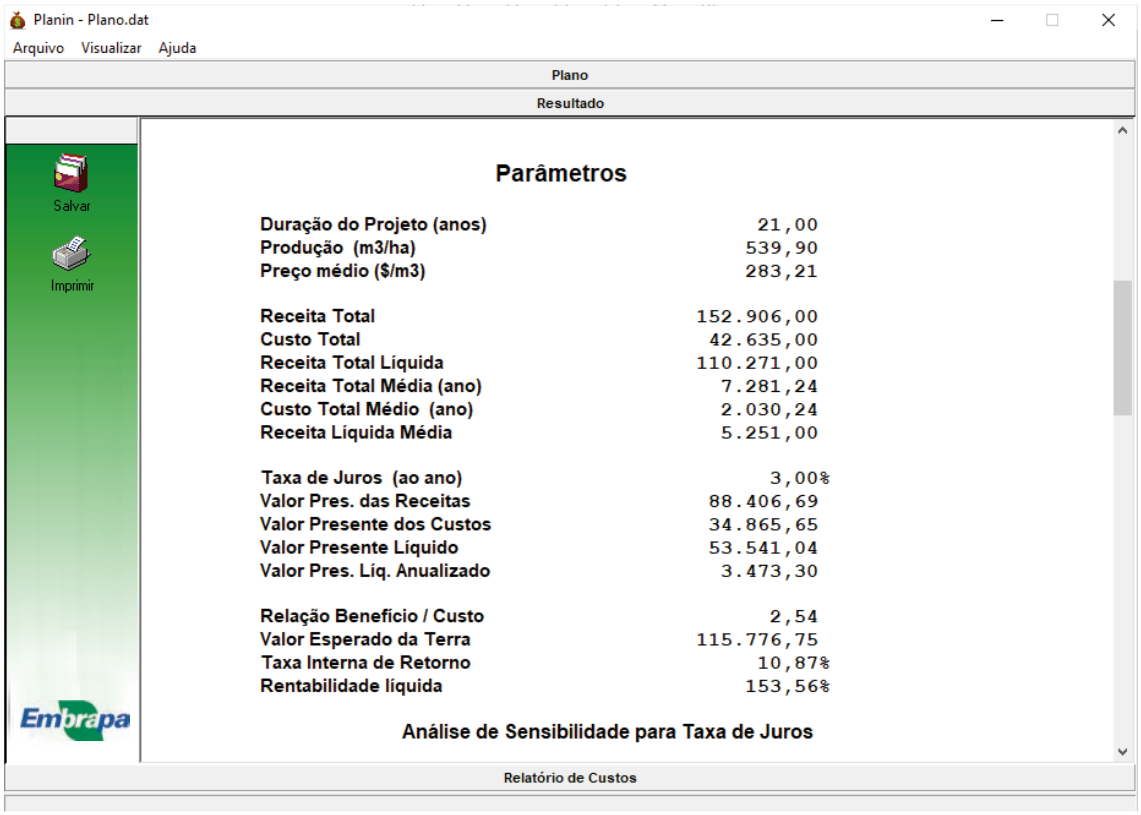


Figura 7. Fluxo de receitas e custos (A) e parâmetros de análise econômica (B) para o cenário de preços 2.

Na comparação dos cenários de preços 1 e 2, observa-se que os preços de madeira 30% maiores no cenário 2 promoveram aumento de 61,5% nos parâmetros VPL, VPLA, VET e Rentabilidade Líquida. O aumento na relação B/C foi 30,2% e na TIR foi 26,0%.

Pesquisa operacional com teca

A pesquisa operacional (PO) é um conjunto de ferramentas matemáticas de auxílio às tomadas de decisões. Pode também ser definida como 'ciência e arte' de encontrar soluções ótimas em cenários de escassez de recursos. Nesta seção serão abordados exemplos práticos de utilização de algumas ferramentas da PO, sem entrar nos tediosos detalhes matemáticos e informáticos delas.

Para exemplificar o uso de algumas ferramentas da PO em teca serão apresentados aplicativos florestais (softwares) desenvolvidos pela empresa OpTimber Otimização e Informática Ltda ME. Dentre eles, o MaxiTora®, o FlorExel® e o OpTimber-LP® serão utilizados em exemplos específicos.

Otimização do desdobro de toras - MaxiTora®

O software MaxiTora® utiliza um algoritmo baseado em programação dinâmica bidimensional, para gerar modelo de desdobro otimizado. A geração de modelo de desdobro consiste basicamente em encaixar quadrados ou retângulos que representam as peças serradas dentro de um círculo, o qual representa a secção de uma tora.

As entradas ou inputs para gerar modelo de desdobro são as dimensões das peças serradas, largura e espessura, ambas em mm, além do preço correspondente expresso em R$ m^{-3}. Podem ser configuradas também as espessuras em mm das serras, principal e secundária, que farão, respectivamente, os cortes verticais e horizontais.

Na Figura 8 são apresentadas as peças serradas com suas respectivas medidas de espessura e comprimento, bem como o preço. Informações adicionais podem também ser cadastradas envolvendo a posição da peça na tora, se pode ou não pode virar ou inverter as medidas da peça, se permite obter no semi-bloco ou na costaneira. As espessuras das serras, principal e secundária, são igualmente informadas nesta tela.

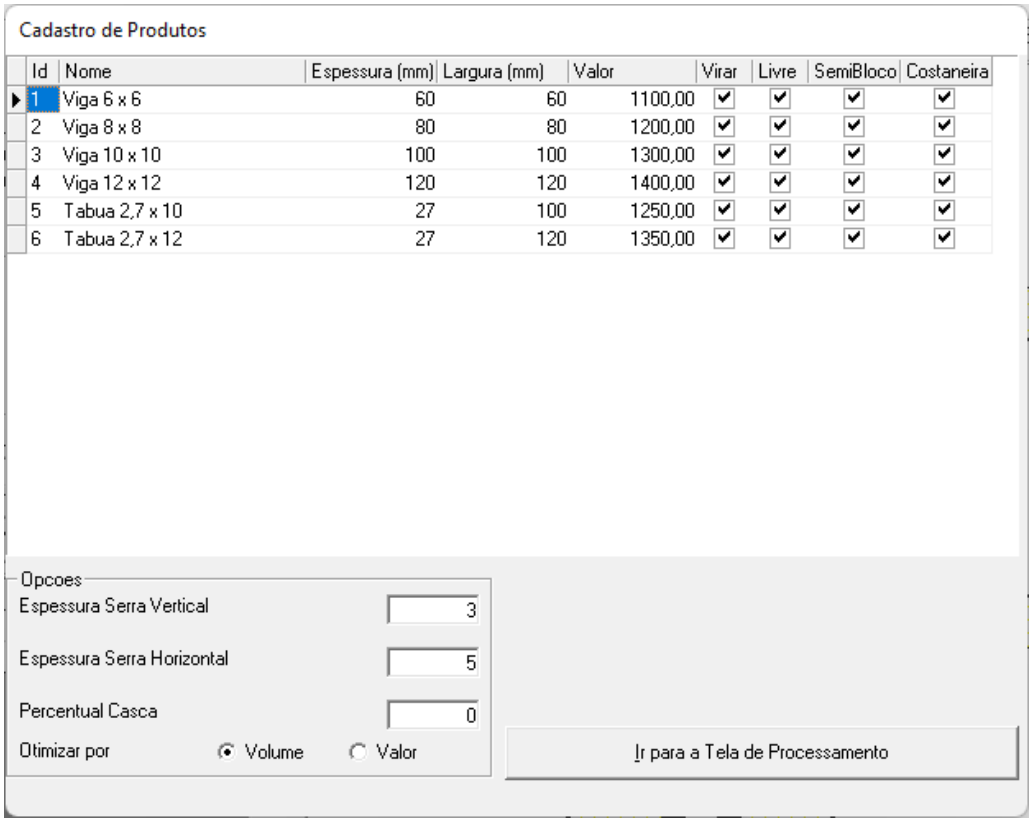


Figura 8. Dimensões das peças serradas a serem obtidas pelo MaxiTora® das toras de teca e detalhe das espessuras das serras vertical e horizontal.

As saídas ou outputs são compostos pelos modelos de desdobro otimizados das toras. Na Figura 9 é apresentado o modelo de desdobro para uma tora com 25 cm de diâmetro. Note-se que, por meio das setas ◄ e ►, é possível gerar os modelos de desdobro otimizados para toras com diâmetros variando entre 12-160 cm. Esta saída mostra também o percentual de rendimento e a lista de peças serradas que serão obtidas. A otimização do volume gerou um modelo de desdobro que aproveita 57,2% da superfície transversal da tora, enquanto o modelo de desdobro que otimiza o valor da tora aproveita 52,8%, mas, obviamente, com um maior valor financeiro.

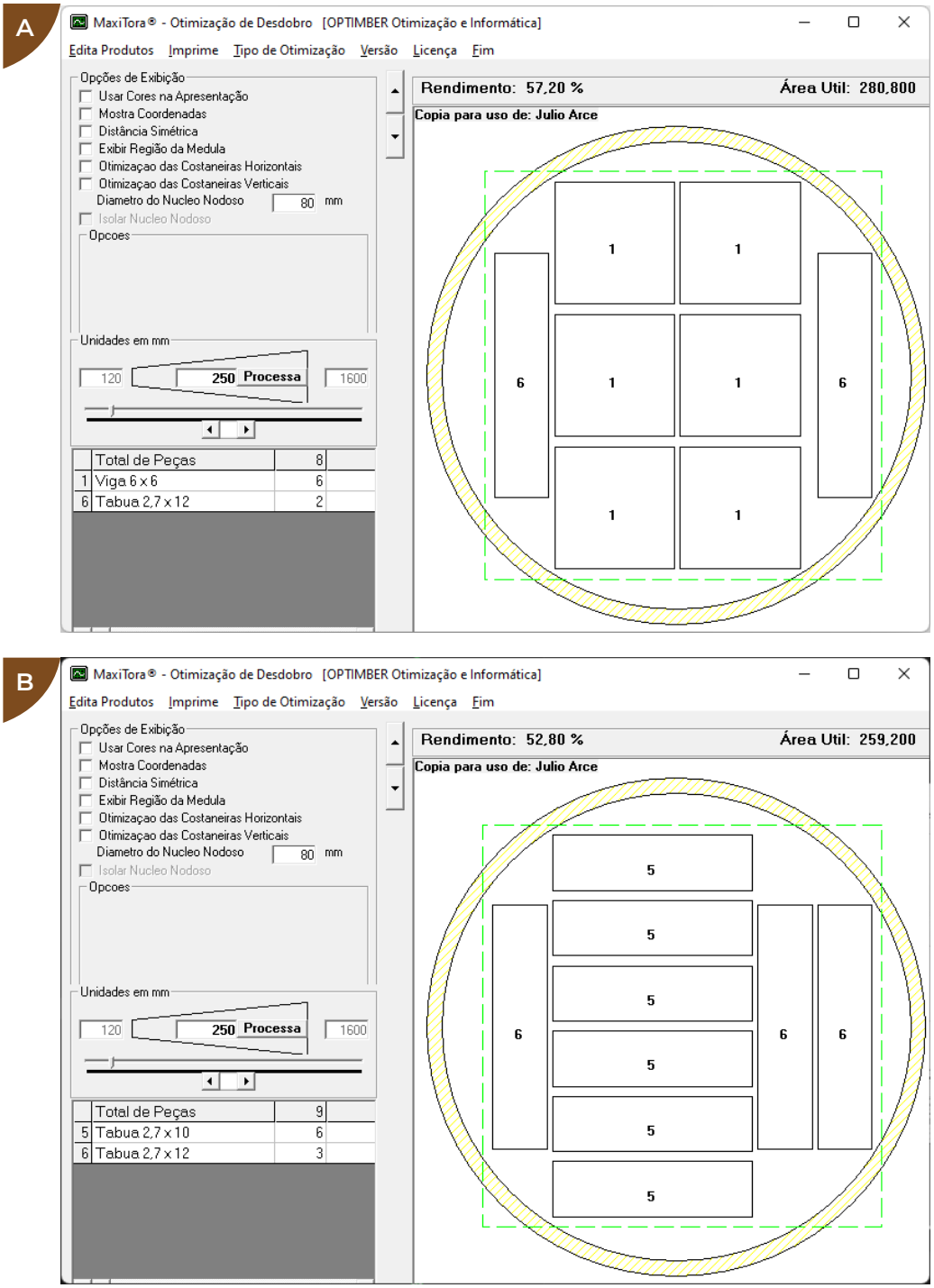


Figura 9. Modelos de desdobro otimizados para uma tora de 25 cm de diâmetro, considerando a lista de produtos da Figura 8 e os critérios de maximização do volume (A) e da receita (B).

O software MaxiTora® permite gerar ainda modelos de desdobro considerando os tipos de otimização livre, retangular e semi-bloco. A Figura 10 mostra modelos de desdobro otimizados para uma tora de 25 cm de diâmetro, considerando a lista de produtos da Figura 8 e os tipos de otimização retangular (A) e semi-bloco (B), e o critério de maximização da receita. Esses modelos de desdobro devem ser comparados ao mostrado na Figura 9B, pois envolvem o mesmo critério de otimização que é a maximização da receita.

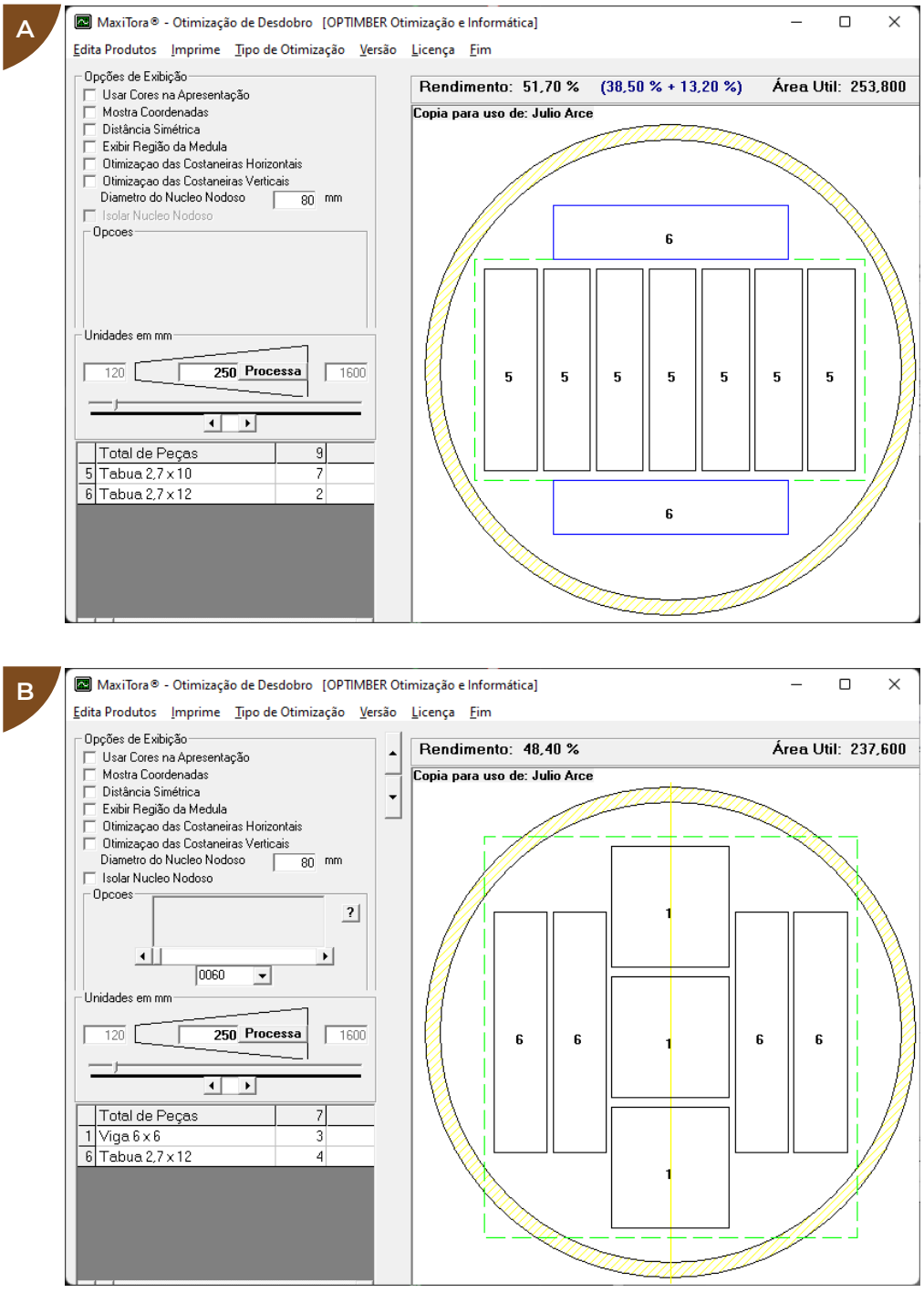


Figura 10. Modelos de desdobro otimizados para uma tora de 25 cm de diâmetro, considerando a lista de produtos da Figura 8 e os tipos de otimização retangular (A) e semi-bloco (B) e o critério de maximização da receita.

A Figura 11 mostra algumas opções adicionais de visualização que o MaxiTora® proporciona. É possível visualizar as coordenadas, a região da medula, diferenciar as peças serradas com cores, visualizar a região afetada pela possível secção elíptica da tora, além da otimização complementar das costaneiras verticais e horizontais.

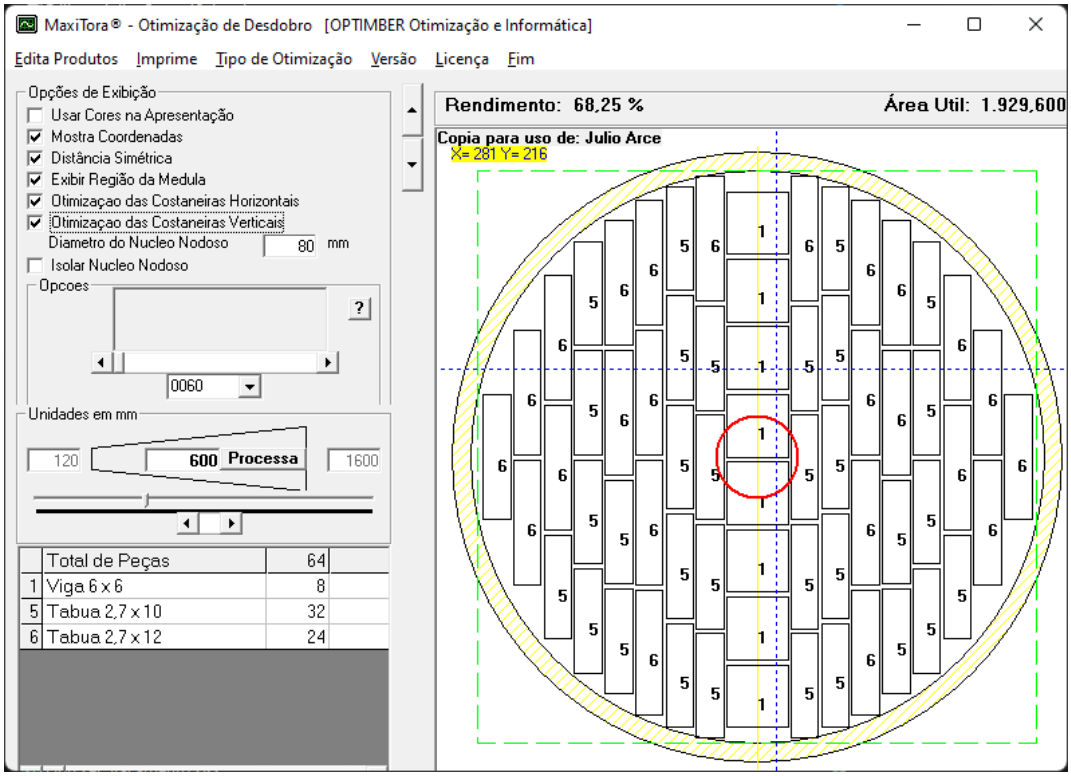


Figura 11. Opções adicionais de visualização no MaxiTora®.

Otimização do sortimento florestal - FlorExel®

O módulo de inventário de florestas plantadas do software FlorExel® processa dados de parcelas coletados no campo e retorna o estoque volumétrico completo, discriminando os volumes total, comercial e por sortimento. Uma análise estatística completa acompanha os relatórios de saída, os quais são todos apresentados em planilhas adicionais inseridas no mesmo arquivo Excel® em que os dados coletados estão cadastrados.

O software FlorExel® incorpora, em seu módulo de processamento de dados de inventários de florestas plantadas, um algoritmo heurístico baseado em programação dinâmica unidimensional para obter padrões ótimos de traçamento. Para que a otimização seja factível, é necessário cadastrar, pelo menos, dois comprimentos diferentes de toras para um mesmo diâmetro mínimo na ponta fina.

A lista de produtos disponíveis para a otimização do traçamento é mostrada na Tabela 4. Ao todo, 12 multiprodutos foram contemplados considerando quatro intervalos de diâmetros na ponta fina e três intervalos para o comprimento das toras. As dimensões destes multiprodutos foram baseadas no exemplo apresentado por Midgley et al. (2015). Um último sortimento foi adicionado à tabela para incluir toras abaixo do mínimo DPF.

Tabela 4. Lista de multiprodutos (toras) possíveis de serem obtidos no traçamento.

Produto	DPF (cm)		DPG (cm)		Comprimento (m)		Preço*
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	USD$ m³
1	29,00	99,00	29,00	99,00	4,00	5,00	1.700,00
2					3,00	4,00	1.550,00
3					2,00	3,00	1.400,00
4	24,00	29,00	24,00	99,00	4,00	5,00	1.550,00
5					3,00	4,00	1.450,00
6					2,00	3,00	1.250,00
7	20,00	24,00	20,00	99,00	4,00	5,00	1.350,00
8					3,00	4,00	1.250,00
9					2,00	3,00	1.100,00
10	12,00	20,00	12,00	99,00	4,00	5,00	1.100,00
11					3,00	4,00	1.075,00
12					2,00	3,00	950,00
13	5,00	12,00	5,00	99,00	1,00	2,00	500,00

DPF: diâmetro na ponta fina, DPG: diâmetro na ponta grossa.

* Valores de referência em unidade monetária local conforme Midgley et al. (2015). A relação entre os valores é mais relevante que os valores absolutos em si.

A Figura 12 mostra as opções de traçamento, padrão e otimizado, geradas pelo módulo de inventário de florestas plantadas do FlorExel®, para uma árvore com diâmetro de 60 cm e altura de 35 m, considerando altura toco de 15 cm e espessura do corte de abate de 5 cm. O traçamento otimizado obteve um valor 1,2% superior ao traçamento padrão. Embora esse acréscimo possa parecer pouco, de fato ele é obtido praticamente sem quaisquer custos adicionais; apenas gerando a priori padrões de traçamento otimizados.

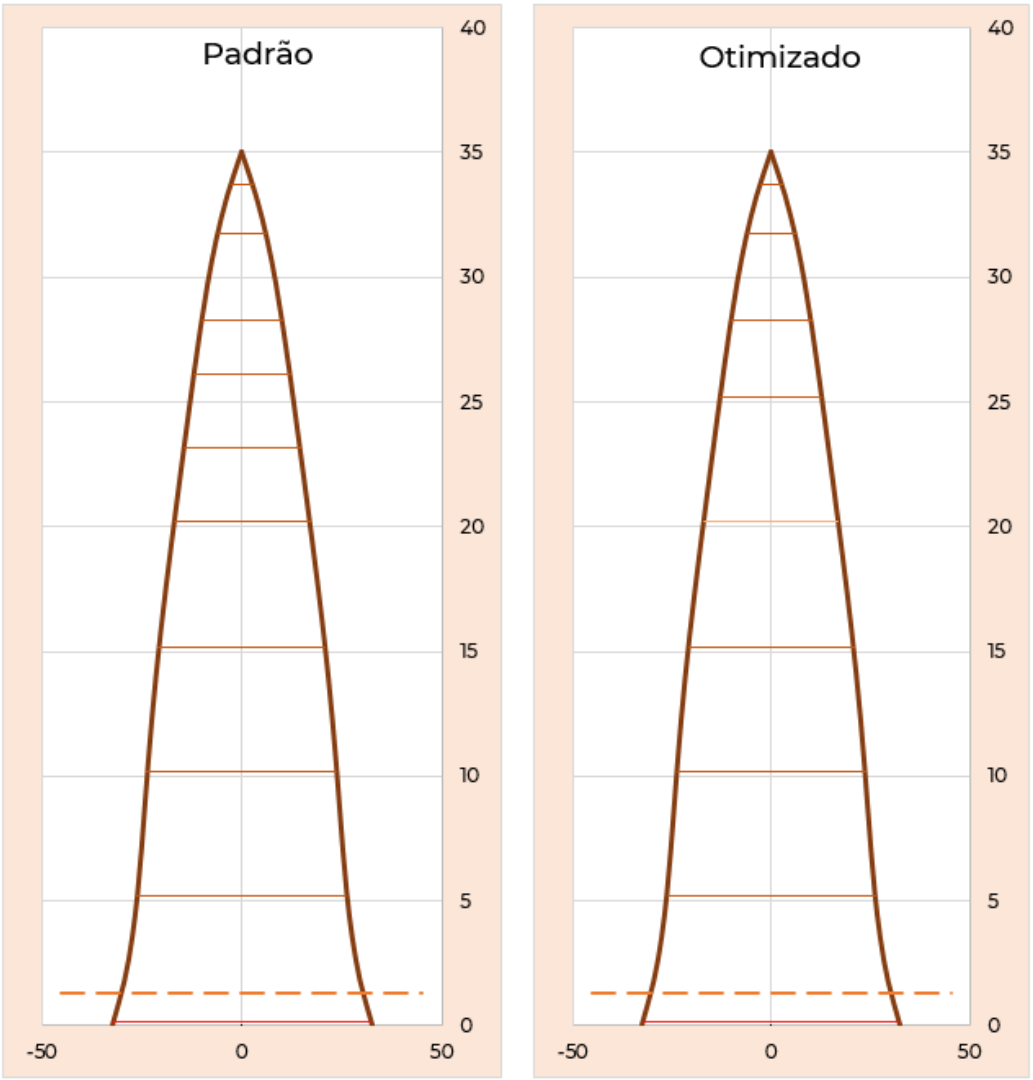


Figura 12. Opções de traçamento padrão e otimizado geradas pelo módulo de Inventário de Florestas Plantadas do FlorExel®, para uma árvore com d = 60 cm e h = 35 m.
Crédito: Julio Eduardo Arce.

Otimização de regimes de manejo

Manejar florestas adequadamente é um dos maiores desafios da Engenharia Florestal. Talvez, seja justamente por causa deste desafio que existe uma engenharia dedicada exclusivamente a ele. Para ilustrar a complexidade de se obter soluções verdadeiramente ótimas para o manejo das florestas plantadas, a Figura 13 apresenta um organograma com 17.760 combinações possíveis, denominadas de regimes de manejo tipo single rotation, geradas a partir das seguintes opções:

• Quatro densidades de plantio: 600 árvores ha^{-1}, 800 árvores ha^{-1}, 1.000 árvores ha^{-1} e 1.111 árvores ha^{-1}.

• Desbaste entre 7-9 anos, deixando em pé 40%, 55% e 70%, com opção sem desbaste.

• Desbaste entre 11-13 anos, deixando em pé 40%, 55% e 70%, com opção sem desbaste.

• Desbaste entre 15-17 anos, deixando em pé 40%, 55% e 70%, com opção sem desbaste.

• Corte raso entre 11-14 anos, entre 17-20 anos e entre 22-25 anos.

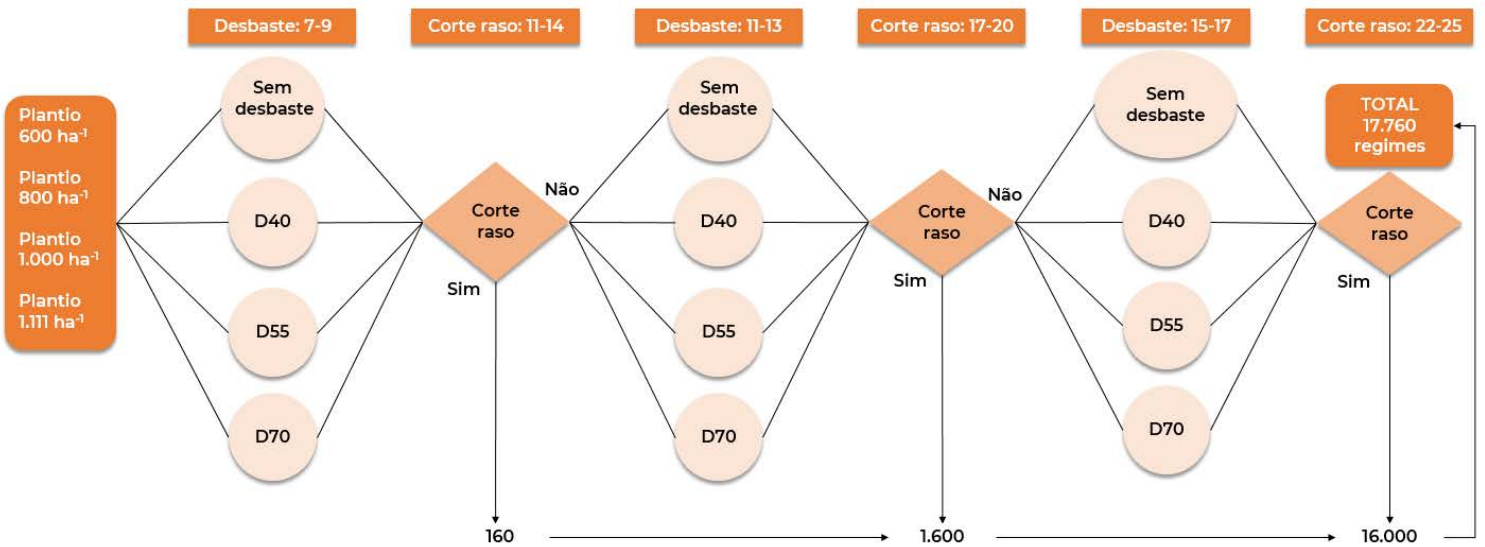


Figura 13. Organograma da simulação de regimes de manejo.
Legenda: D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente.
Fonte: Adaptado de David et al. (2017).

Nenhum dos três possíveis desbastes é obrigatório, podendo haver regimes sem desbaste, com todas as 12 opções de corte raso. O desbaste permitido entre 11-13 anos de idade pode ser o segundo desbaste, mas também pode ser o primeiro desbaste, caso o desbaste entre 7-9 anos de idade não seja utilizado. O desbaste permitido entre 15-17 anos de idade pode ser tanto o primeiro, como o segundo ou até o terceiro desbaste.

Na combinação entre as quatro densidades iniciais de plantio, com as dez opções de desbaste entre 7-9 anos de idade, sendo nove opções decorrentes do produto de 3 idades x 3 intensidades de desbaste mais uma opção de não desbaste e as 4 idades de corte raso, tem-se: 4 x 10 x 4 = 160 regimes de manejo, com corte raso entre 11-14 anos de idade. Com raciocínio análogo, chega-se aos 1.600 regimes de manejo possíveis, com corte raso entre as idades de 17-20 anos e, aos 16.000 regimes de manejo possíveis, com idades de corte

raso entre 22-25 anos. Desta maneira, somando todas as opções de manejo mencionadas, chega-se ao total de 160 + 1.600 + 16.000 = 17.760 regimes de manejo possíveis para cada talhão ou unidade de manejo que compõem a base florestal a ser planejada.

O software OpTimber-LP® considera de maneira combinatória as opções de manejo para o ciclo / rotação atual, bem como para os próximos ciclos / rotações. Assim, se for considerado um horizonte de planejamento que abranja, por exemplo, dois ciclos, o número de opções de manejo aumenta de maneira exponencial, pois devem ser considerados os 17.760 regimes de manejo como candidatos para serem avaliados no segundo ciclo após o corte raso de cada um dos 17.760 regimes de manejo do primeiro ciclo. Assim, tem-se um total de 17.760 x 17.760 = 315.417.600 regimes de manejo. Obviamente, é impossível avaliar este volume de dados nos computadores de uso comum, que são disponibilizados aos responsáveis pelo planejamento florestal. Por outro lado, é desnecessário avaliar este grande número de opções de manejo da segunda rotação em diante, pois, já na primeira rotação, a floresta como um todo já tem chance de ficar regulada, conforme os anseios do responsável pelo planejamento.

Dentre os 17.760 regimes de manejo apresentados na Figura 13, certamente há um único regime e, excepcionalmente, alguns poucos regimes empatados, que geram o máximo volume total possível. O regime com plantio de 1.111 árvores ha^{-1}, sem desbastes e com corte raso aos 25 anos de idade, provavelmente, será o regime gerador de maior volume total de madeira ou biomassa. Por outro lado, haverá também um regime, dentre os 17.760 possíveis gerador de máximo volume comercial e outro regime gerador de máximo volume para toras com diâmetro da ponta fina acima de 30 cm e mais um gerador de máximo VPL, VPL anualizado e TIR, e assim por diante.

A dúvida sobre a real necessidade de se gerar exaustivamente tantas opções de manejo é recorrente. Se apenas um único regime é o melhor para um determinado critério, para que gerar outros? Pois bem, dois fatores justificam a geração exaustiva de regimes de manejo:

1. Para saber qual é o melhor regime, deve ser gerada exaustivamente a maior quantidade de combinações possíveis.

2. Mesmo sabendo de antemão qual é o melhor regime para cada talhão, alguns objetivos de regulação podem forçar à adoção de regimes não ótimos na rotação atual.

Inicialmente, deve ser cadastrada ou importada ao software OpTimber-LP®, a base florestal alvo do planejamento. Cada linha da tabela apresentada na Figura 14 representa um talhão ou um polígono, com certa homogeneidade em termos de material genético, ano de plantio, índice de sítio, métricas de inventário, manejo florestal passado, entre outros.

Os critérios para decidir quais áreas são homogêneas são definidos previamente pelo usuário. Assim, o menu 'Projeto' de fato gerencia estratos homogêneos, os quais, na mais detalhada das opções, se referem aos talhões.

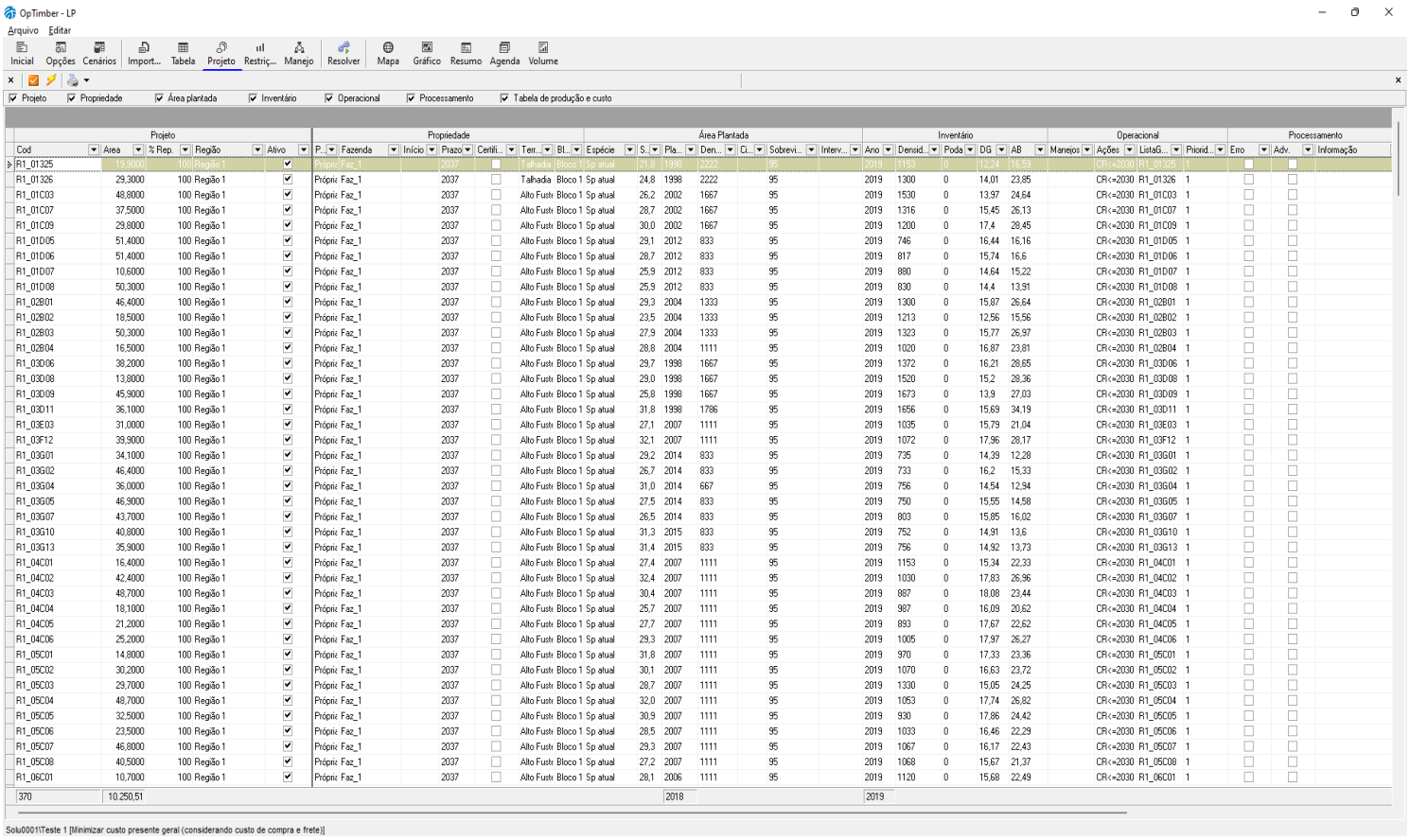


Figura 14. Tela do menu 'Projeto' do software OpTimber-LP®.

Para cada área homogênea ativa no cadastro, o software OpTimber-LP® monta a árvore de opções de manejo, a partir de regras simples e objetivas configuradas pelo usuário. No menu manejo apresentado na Figura 15, é possível configurar as tarefas de plantio, de poda, de desbaste e de corte raso, além de tarefas de manutenção, que geram custos, mas não geram volume, como aplicação de defensivos, controle de formigas, entre outras. As caixas de seleção espécie, região, sítio, propriedade e terreno são filtros aplicáveis aos regimes de manejo e permitem, por exemplo, configurar regimes de manejo idênticos, exceto nos seus custos com aplicação às áreas com terrenos mecanizáveis e não mecanizáveis.

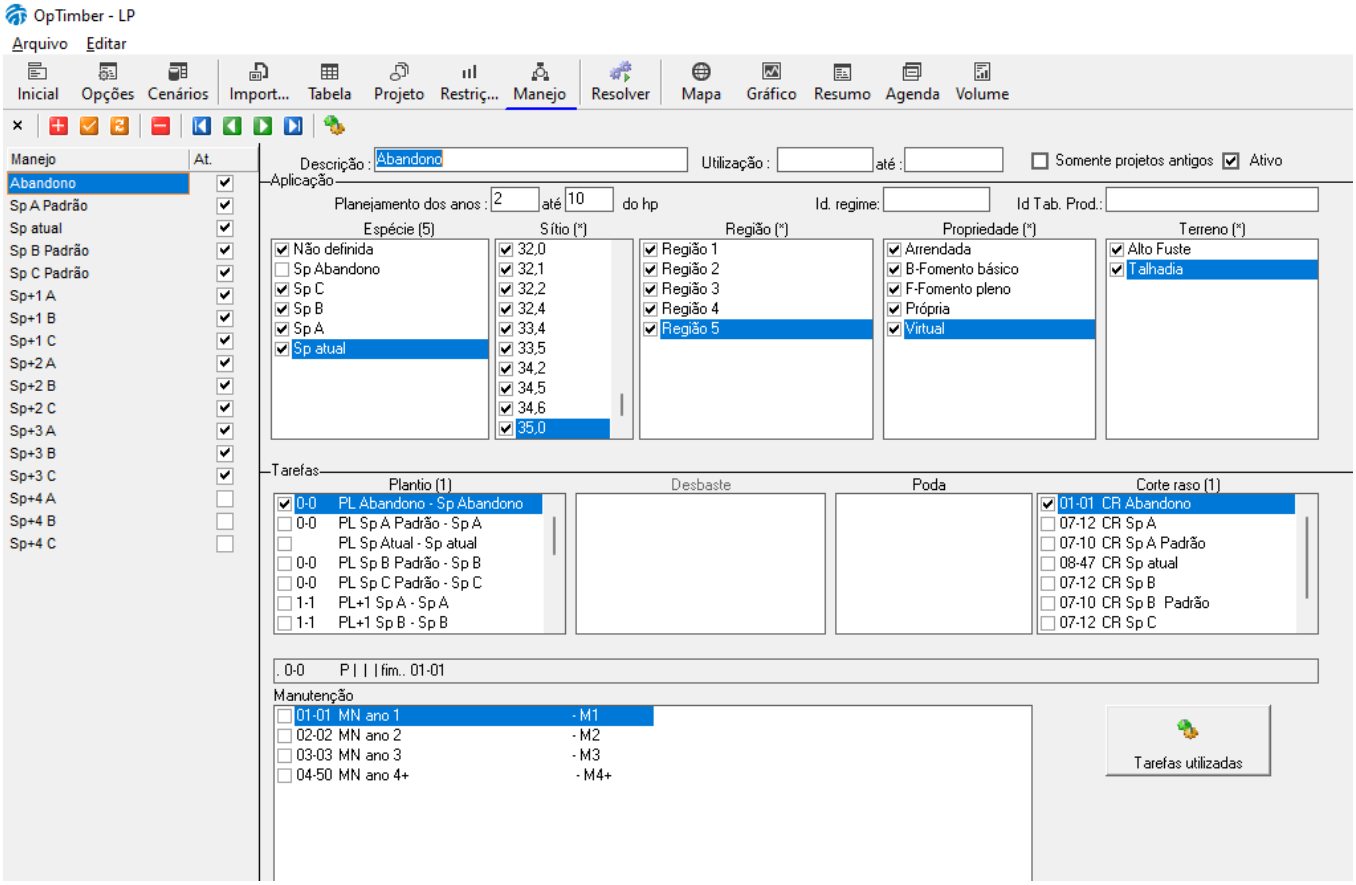


Figura 15. Tela do menu 'Manejo' do software OpTimber-LP®.

Os relatórios apresentados pelo software OpTimber-LP® são compostos de tabelas, gráficos e de um mapa com a localização espacial das atividades de desbastes e de corte raso, para cada ano do horizonte de planejamento. A Figura 16 exemplifica os relatórios gráficos das tarefas e da produção. Filtros e agrupadores podem ser aplicados no menu Gráficos, permitindo visualizar de maneira dinâmica os itens de interesse. Todas as saídas dos gráficos e das tabelas podem ser exportadas para a planilha MS Excel®, com apenas um click de mouse.

O menu 'Agenda' exemplificado na Figura 17, gera uma agenda completa para todas as áreas ativas e anos do horizonte de planejamento.

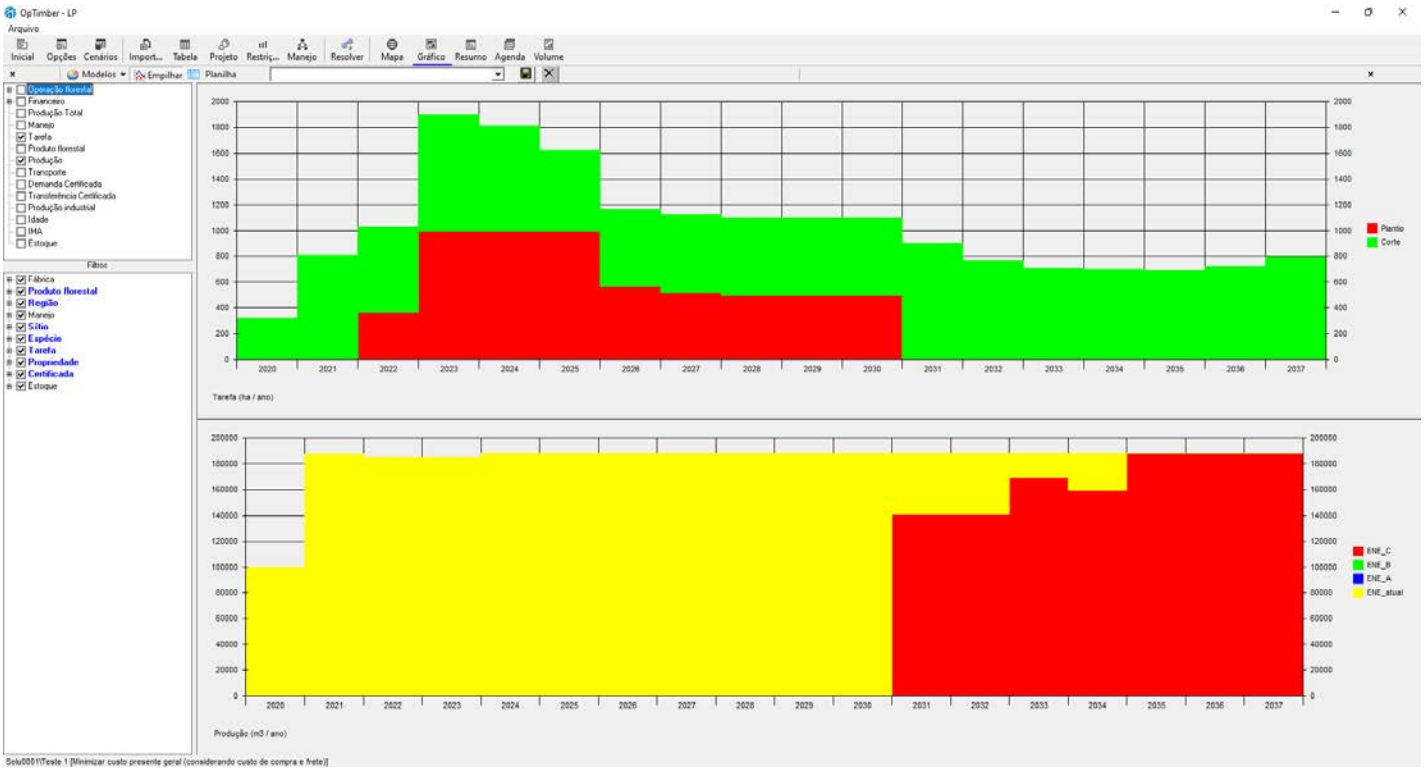


Figura 16. Tela do menu 'Grafico' do software OpTimber-LP®.

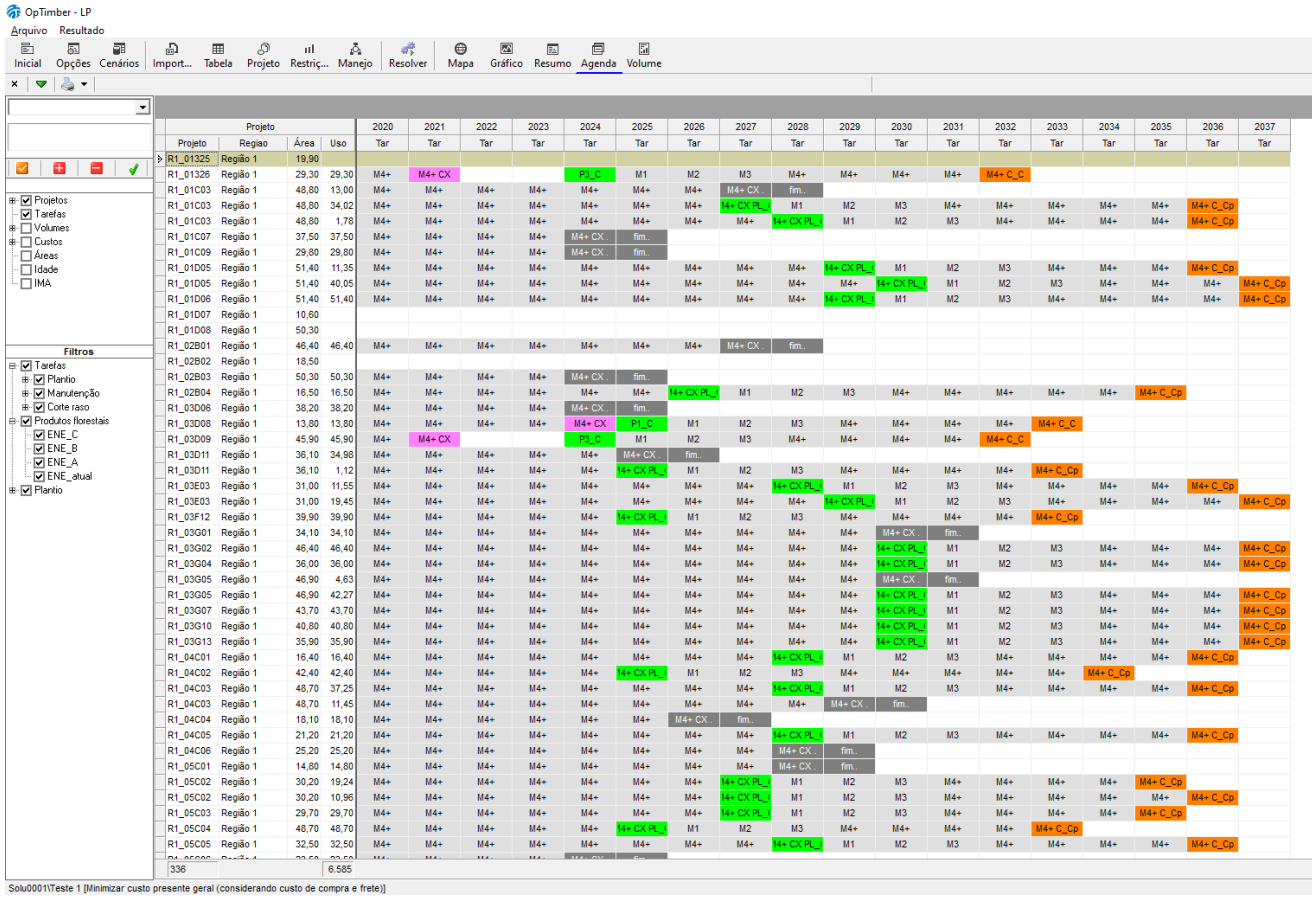


Figura 17. Agenda gerada pelo software OpTimber-LP®.

Considerações finais

Planejamento, análise econômica e pesquisa operacional são temas fortemente interrelacionados na Engenharia Florestal. No âmbito corporativo, é comum serem conduzidos pelo mesmo técnico ou mesma equipe. São sempre estratégicos, com altíssimo potencial de elevar a rentabilidade dos empreendimentos e oferecem amplo espaço para atuação de empresas e profissionais especializados.

Transformar espaço para a atuação profissional em mercado de trabalho é tarefa complexa. Depende de conhecimentos e prioridades empresariais e do acesso e habilidade dos técnicos para mostrar seus produtos. Até o final do século XX, a maioria dos profissionais procurava conseguir seus empregos. Hoje, eles buscam criar seus empregos. Assim, estar sempre à frente em termos de avanços tecnológicos se tornou o diferencial competitivo para os técnicos e para as empresas.

Neste contexto, especialmente na última década, a Ciência de Dados (Data Science) vem promovendo uma grande revolução nas mais diversas atividades técnicas e econômicas. Sua base é a comunicação em rede que, junto com utilização de algoritmos que podem conectar e extrair informações preciosas de grandes bancos de dados, permitem o aprofundamento das análises, com rapidez, na busca por padrões, associações e tendências para auxílio ao processo de tomada de decisão.

Data Science é uma realidade de fácil acesso, que vem se expandindo de forma exponencial e cuja utilização simultânea impacta fortemente na eficiência das aplicações dos temas abordados no presente capítulo. Além dos métodos de análise próprios, ela amplia a base de informações com velocidade e com dados de qualidade. Sua utilização é viável no curto prazo. Assim, sua conexão é altamente recomendável, por potencializar as atividades de planejamento, análise econômica e pesquisa operacional.

Referências

AGARWAL, R.; VIRINE, L. Monte Carlo project risk analysis. In: RAYDUGIN, Y. (ed.). **Handbook of research on leveraging risk and uncertainties for effective project management**. Hershey, PA: IGI Global, 2017. p. 109-129.

ANGELO, H.; MORAES, V. S.; SOUZA, A. N.; GATTO, A. C. Aspectos financeiros da produção de teca no estado de Mato Grosso. **Floresta**, v. 39, p. 23-32, 2009.

AGUIAR, G.; ALVES, C., C.; HENNING, E. Gerenciamento de projetos: simulação de Monte Carlo via a ferramenta simular. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos, SP. **Anais** [...]. São Carlos, SP: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2020.

ANTONIK, L. R. Administração financeira das pequenas e médias empresas. **Revista FAE Business**, n. 8, p. 35-38, 2004.

BEZERRA, A. F.; MILAGRES, F. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G. Análise da viabilidade econômica de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes no Mato Grosso. **Cerne**, v. 17, p. 583-592, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400018.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Diagnóstico de Florestas Plantadas do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), 2013. 106p. Disponível em: https://www.imea.com.br/imea-site/view/uploads/estudos-customizados/RelatorioFlorestasPlantadas.pdf. Acesso em: 8 fev. 2021.

MATSUNAGA, M. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v. 23, n. 1, p. 123-140, 1976.

MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; NGUYEN, D. K.; LAITY, R. **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2015. 92 p. (ACIAR. Technical reports, 85). Disponível em: https://aciar.gov.au/publication/technical-publications/planted-teak-global-production-markets. Acesso em: 1 dez. 2020.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários**: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 1987. 289 p.

PIRES, W. K. L.; MARIANO, G. V. P.; FURTADO, J. S.; ARAÚJO, M. S.; SILVA, A. C. Estudo econômico da implantação de *Tectona grandis* L. f. **Revista do Instituto Florestal**, v. 32, n. 1, p. 7-16, 2020. DOI: https://doi.org/10.24278/2178-5031.202032101.

SÁ, C. P. de; FIGUEREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C. **Caracterização e análise da rentabilidade financeira do cultivo da teca (*Tectona grandis* L. f.) para produção de madeira em Rio Branco, Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2010. 6 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 53). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28922/1/Circular-tec.-53.pdf. Acesso em: 8 fev. 2021.

SANGUINO, A. C. Custos de implantação e rentabilidade econômica de povoamentos florestais com teca no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 52, p. 61-78, 2009.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SILVA, M. L.; COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 487-494, 2003.

WANNER, M. F. **Integrated change management as a success factor for agile organizations**. Tiba Magazin, Munich: Tiba Managementberatung, 2013.



17

Qualidade da madeira da teca

João Gabriel Missia da Silva
Ramon Ferreira Oliveira
Sofia Maria Gonçalves Rocha
Graziela Baptista Vidaurre
João Vicente de Figueiredo Latorraca
Fábio Henrique Della Justina do Carmo

Introdução

Ao dialogar com especialistas em madeiras, provavelmente eles listarão a teca, *Tectona grandis* Linn. f., Família Laminaceae, entre as espécies madeireiras com excelentes características e propriedades e entre as mais valiosas do mundo, sendo considerada um "diamante" lenhoso. Assim como ocorre para o mogno no Brasil e "mahogany" para os demais países do globo, o nome teca ou "teak" é conhecido como sinônimo de madeira de qualidade e alto valor agregado. É também comum encontrar sua designação como a rainha das madeiras tropicais (Queen of tropical hardwoods).

Em relação à denominação da madeira de teca oriunda de florestas naturais, Thulasidas e Baillères (2017) descreveram que, há séculos, ela tem sido comercializada de acordo com o local de origem. Por exemplo, como *Burma*-teca de Mianmar, *Siam*-teca da Tailândia, *Malabar*-teca da Índia ou *Java*-teca da Indonésia. Além disso, diferenças na qualidade da madeira, de acordo com a origem geográfica, também têm sido notáveis.

Pela demanda excepcional e pelos altos preços da madeira de teca no mercado internacional, ao longo dos anos, as plantações comerciais foram ganhando espaço perante as dificuldades encontradas pelo extrativismo. Nesse cenário, surgiram inicialmente as plantações de longa rotação, com idades entre 50-70 anos que, em vista do extenso período para o retorno do investimento, foram substituídas pelas plantações de curta rotação, com idades entre 20-30 anos, estratégia mais utilizada nos países tropicais (Thulasidas; Baillères, 2017; Amusa; Adedapo, 2020).

Em vista do declínio da oferta de madeiras de florestas naturais, as perspectivas para as plantações de teca de curta rotação, no médio e longo prazo, são consideradas promissoras, sendo a qualidade da madeira produzida um fator relevante, em termos de utilização final e de desempenho no mercado (Thulasidas; Baillères, 2017). Logo, a madeira de teca proveniente de plantações em idades jovens, principalmente de desbastes, representa um desafio para o mercado, mediante a expectativa e exigência pela qualidade, por parte dos consumidores. Contudo, o aperfeiçoamento das suas propriedades pode ser obtido com a seleção de indivíduos superiores via melhoramento genético e melhores locais de crescimento, combinados com técnicas adequadas de manejo das plantações e de beneficiamento da madeira (Kollert; Kleine, 2017). Essas estratégias serão de extrema importância para os países em desenvolvimento, onde a produção de teca é um ativo econômico importante (Kokutse et al., 2004). Ao escrever o beneficiamento, sintetiza-se em uma palavra uma série de operações

e trabalhos com a madeira, que são: desdobro, laminação, secagem, usinagem, acabamento, colagem, tratamentos preservativos e profiláticos e, até mesmo, a modificação térmica.

É importante destacar a variedade de aplicações da madeira de teca, o que demonstra a sua versatilidade. A teca tem sido utilizada na construção de estruturas, em projetos arquitetônicos e embarcações, na produção de serrados em geral (vigas, pranchas, pranchões, tábuas, caibros e ripas), móveis, lâminas faqueadas, compensados, pisos maciços e engenheirados, decks, painéis colados e decorativos, ofurôs, portas sólidas e esquadrias, molduras e peças entalhadas, revestimentos, artesanatos, esculturas e decoração, utensílios domésticos, instrumentos musicais, entre outros. Na África, a madeira de teca é utilizada como postes de transmissão elétrica em projetos de eletrificação rural. Atualmente, no Brasil, é comum a comercialização e a exportação de toras e de blocos serrados "brutos" (square cuts) de teca para os Estados Unidos, a Europa e a Ásia. A utilização da madeira de teca jovem (procedente de povoamentos desbastados) na produção de mourões tratados em autoclave e de peças roliças torneadas, também já é realidade no País. A biomassa, na forma de lenha, de serragem e de cavacos, oriundos das operações de processamento da madeira de teca, proveniente principalmente de desbastes, é ofertada ou utilizada como fonte de energia renovável pela própria indústria madeireira, frigoríficos, cerâmicas e secadores de grãos.

Perante os usos mencionados e a alta demanda pela madeira de teca, é fundamental investigar e caracterizar essa madeira, oriunda de diferentes materiais genéticos (clones, progênies e, ou procedências), idades, ambientes de crescimento, bem como as alterações na madeira que podem ocorrer com o uso de diferentes arranjos e espaçamentos de plantio, preparo de solo e adubação, desrama ou poda, desbaste e consórcio com outras espécies florestais, agrícolas e, ou pecuária. Com as perspectivas de mudanças climáticas, a investigação e a busca por alternativas de mitigação dos danos em plantações, causados por déficit hídrico, ventos, eventos climáticos extremos e ocorrência de insetos-pragas e doenças, serão cada vez mais necessárias. Nestes cenários, não se deve minimizar a importância da qualidade da madeira, pois até mesmo as espécies madeireiras que já tenham o uso consolidado ou tradicional podem apresentar variações durante o crescimento e, por conseguinte, na formação do lenho.

A madeira é heterogênea, variável e complexa, sendo essas características intrínsecas, que independem da espécie, da idade e do local de crescimento e que requerem uma constante revisão e análise da matéria-prima produzida e consumida, dos processos de beneficiamento e tratamentos, da adequação às utilizações almejadas e, também, da qualificação e da atualização da mão de obra. Empreendimentos e indústrias que negligenciam a qualidade da madeira apresentam grande percentual de falhas e de desperdícios durante o beneficiamento.

Evidentemente, gastam mais em suas operações, especialmente na busca por correções de não conformidades e, consequentemente, com retrabalhos. Cada real investido na seleção de materiais genéticos, na produção e na utilização de matéria-prima de qualidade gera economias significativas no processo e agrega valor, aumentando-se a competitividade e atendendo às necessidades de mercados mais exigentes e remunerativos. A qualidade da madeira é método, investimento, preço, estratégia organizacional, economia de escala, inovação, competitividade, sustentabilidade, excelência operacional e de produtos e deve ser objetivo de melhoria contínua.

Nesse contexto, este capítulo realiza uma síntese do conhecimento gerado nos últimos anos, no Brasil e em outros países, sobre as propriedades e a qualidade das madeiras de teca, oriundas de extrativismo e de plantações florestais, comumente utilizadas na fabricação de diversos produtos, principalmente os sólidos. A composição dessas informações em um capítulo contribui com a reunião de subsídios para a criação de programas de melhoramento genético, estratégias de agregação de valor, noção do estado qualitativo do suprimento disponível, melhorias das atividades dos silvicultores e beneficiadores da madeira, fabricação e utilização de produtos específicos e no desenvolvimento da cultura da teca no Brasil, cooperando para que as atuações e os negócios, desde os pequenos produtores aos grandes players do setor florestal, sejam bem-sucedidos.

Forma e qualidade do fuste de teca

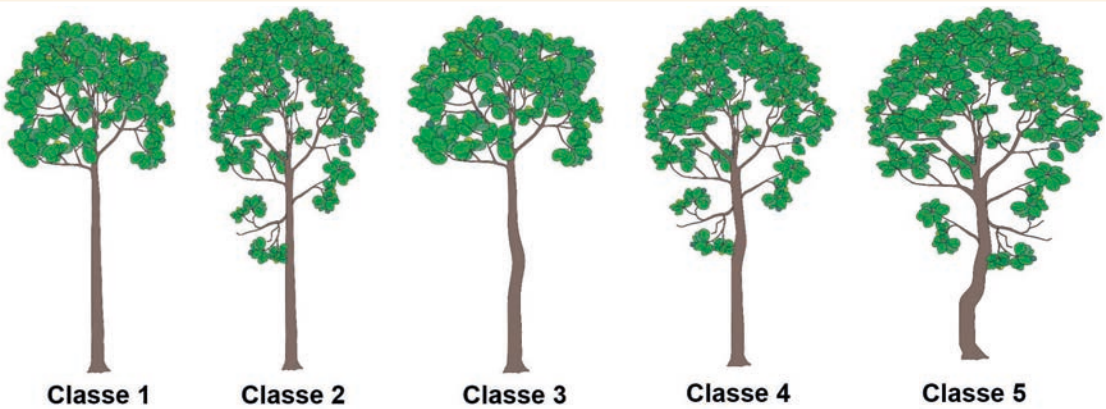
A forma do fuste é uma característica qualitativa muito importante quando se considera o valor comercial que as toras podem atingir, bem como os índices de aproveitamento do desdobro em serraria. Ela pode ser influenciada de forma positiva ou negativa pelo genótipo e pelo método de propagação (seminal ou clonal), pelo espaçamento de plantio e densidade populacional, pela adubação, pela desrama, pelo desbaste, pelo ataque de insetos-pragas, pela ocorrência de doenças, de incêndios e de ferimentos, pela idade, pela ação dos ventos e pelas características de solo e relevo dos ambientes de crescimento.

Para a avaliação da forma e da qualidade de fuste de teca, pode-se utilizar a classificação proposta por Jankauskis (1979) (Tabela 1). Esse método permite, além da avaliação e da seleção de genótipos superiores, a concepção de um critério para a compra e para a precificação das florestas em pé, para triagem de fornecedores e para a realização de desbastes seletivos. A forma do fuste é uma característica importante a ser examinada e considerada nos inventários florestais realizados para avaliar o crescimento e a produção das florestas de teca.

Para árvores de teca, colhidas durante desbaste em Figueirópolis d'Oeste, MT (seis anos de idade), foi observada baixa qualidade do fuste para o material seminal, com maior proporção de indivíduos nas classes 4, 3 e 2, conforme classificação proposta por Jankauskis (1979), em ordem decrescente. Entre os cinco clones avaliados (61, 62, 63, 68 e 80), o 63 apresentou a maior proporção de árvores com forma de fuste classe 1 e o clone 68 foi o que apresentou a maior quantidade de indivíduos na classe 4. Para a plantação clonal e seminal, em Lambari d'Oeste, MT (sete anos de idade), ocorreu predominância das árvores clonais (61, 62 e 68) com classe 1, ou seja, retas e sem galhos laterais, e das classes 3 e 4 para as árvores seminais (Gava, 2015). Nesse cenário, a desrama bem-feita pode contribuir ao eliminar os galhos laterais e reduzir as alterações da forma do fuste, que poderiam ocorrer pela sua interseção e engrossamento. Além da desrama, os desbastes seletivos realizados ao longo do crescimento retiram os indivíduos de classes inferiores do povoamento, permanecendo no campo apenas aqueles de melhor qualidade de fuste. Portanto, os genótipos selecionados, associados aos tratos silviculturais adequados possibilitam o suprimento de toras de teca com melhor qualidade.

Tabela 1. Classificação da forma e da qualidade do fuste de árvores de teca.

Classe	Descrição
1	Árvore reta, sem galhos laterais, copa bem-definida, tipicamente de valor comercial.
2	Árvore reta, com galhos laterais, mas ainda aproveitável comercialmente.
3	Árvore com tortuosidade leve, sem galhos laterais e aproveitamento comercial parcial da altura.
4	Árvore tortuosa, com galhos laterais e pouco aproveitável comercialmente.
5	Árvore tortuosa ou defeituosa, com galhos laterais e praticamente sem uso comercial.
Representação dos perfis das árvores por classe	



Fonte: Adaptado de Jankauskis (1979).

A melhoria progressiva da forma do fuste de árvores de teca, com as idades de três anos, cinco anos e oito anos, foi percebida para materiais de origem seminal e clonal em Figueirópolis d'Oeste, MT (Leonardo, 2018). Esse efeito foi atribuído à aplicação de desbastes seletivos, realizados aos cinco anos e oito anos de idade, que aperfeiçoaram a qualidade do fuste do suprimento florestal, ao remover indivíduos doentes, tortuosos e com ramificações.

A forma ou fisionomia do fuste das árvores de teca é muito dependente do manejo e do genótipo, geralmente as árvores apresentam bom estado qualitativo, exceto na base, pela presença de pequenas sapopemas (raízes tabulares ou "catanas", no popular). Em árvores de 13 anos de idade, plantadas na Costa Rica, foram obtidas de 3-6 toras comerciais (4 em média) de 2,5 m de comprimento e com diâmetros superiores a 13 cm (Roque et al., 2010). Ressalta-se que algumas empresas no Brasil iniciaram suas operações com toras de teca com diâmetros entre 13-30 cm, uma estratégia adotada durante a formação e a consolidação da sua base florestal.

As árvores de teca de origem seminal, aos 12 anos de idade, procedentes de plantação consorciada com café conilon (*Coffea canephora*), localizada no município de Sooretama, ES, cujo espaçamento foi 8 m x 8 m entre as linhas de plantas de café, apresentaram variações de circularidade das toras basais (Figura 1). A base do tronco é a região com maior variação em circularidade, uma vez que ocorre a formação de sapopemas e os tratos culturais da espécie agrícola, tais como a fertirrigação, podem impulsionar o crescimento do lenho em diâmetro, de forma não proporcional à altura nessa região. Ou seja, nas plantações mais espaçadas, como em consórcios, as árvores de teca tendem a adquirir parcialmente a sua forma específica e a ter o crescimento em altura mais lento que o incremento diamétrico, o que favorece a deformidade dessa região (Câmara et al., 2017).



Figura 1. Tora basal de árvore de teca seminal, aos 12 anos de idade, obtida a partir de consórcio com café, com variações na circularidade (déficit isoperimétrico).

Os desvios da circularidade do fuste podem ser interpretados como déficit isoperimétrico (Figura 1) que ocorre ao se considerar, como círculo perfeito, uma seção transversal que, na realidade, é irregular, ou seja, superestima o valor real dessa área (Lemos, 2010). Na prática, esse déficit, mesmo que pequeno, dificulta as mensurações da volumetria das árvores e das toras, impactando na precisão do inventário florestal, no controle da produção e, também, no empilhamento e no transporte das toras. Em adição, toras menos cilíndricas aumentam as dimensões de costaneiras durante o desdobro, o que reduz o rendimento em madeira serrada. A depender do nível tecnológico da serraria, as toras com forma irregular exigem maiores movimentações até encontrar a face mais apropriada para a execução do primeiro fio de corte, o que vai impactar na eficiência operacional e no desgaste mecânico dos equipamentos. Irregularidades da forma e a conicidade das toras de teca proporcionam a produção de peças serradas com zonas irregulares de cerne e de alburno, ao longo da sua largura e comprimento, sem uniformidade da cor, o que pode não ser aceito pelo mercado ou por determinados consumidores (Câmara et al., 2017).

A ocorrência de sapopemas em toras basais de teca, geralmente, nas mais volumosas e valiosas, é indesejada porque gera desperdícios, mesmo com a mitigação de seus danos com o corte do lenho protuberante e, ou destopo primário. O corte das árvores em alturas acima da região de ocorrência desse defeito também é inviável, em vista da altura da cepa ou toco remanescente que fica em campo, aumentando o volume de resíduos florestais e, ou dificultando as operações de colheita, de transporte e de reforma da área para plantio. Uma alternativa para as árvores com irregularidades do fuste é aumentar a cartela de opções de aproveitamento da madeira roliça "bruta", com a produção de toras mais curtas e livres dos defeitos destinadas à serraria, e com discos (ou "bolachas") e pranchas para atender alguns nichos de mercado que consumam a madeira com formas e com dimensões variadas, tais como: tampos e assentos de móveis rústicos, peças de biodesign, esculturas, peças de decoração para paredes e ambientes, pisadas de jardins, faixadas e letreiros. A viabilidade técnica e econômica dessa proposta tem que ser investigada para cada caso. Contudo, já se observa uma tendência de aumento, no comércio eletrônico (e-commerce) e físico no Brasil, de madeira de teca com essas características, em que cada peça possui valor atrativo.

O fator de forma expressa o afilamento das árvores ao longo da altura, pois baseia-se na forma cilíndrica, que é igual a 1, ou seja, valores distantes da unidade representam maiores afilamentos e, ou conicidades (Carneiro et al., 2018). As avaliações do efeito da idade no fator de forma de árvores de teca, plantadas em Rio Branco, AC e Acrelândia, AC, demonstraram que os indivíduos são mais cônicos nos povoamentos com idades mais avançadas. Foram calculados valores médios de fator de forma de 0,61 no intervalo entre 2-4 anos,

0,52 entre 5-7 anos e 0,48 entre 8-9 anos de idade. Quanto ao efeito diamétrico, os indivíduos de maior diâmetro possuem maior conicidade, enquanto os indivíduos suprimidos (de menor diâmetro) apresentam maior proximidade com a forma cilíndrica (Figueiredo et al., 2005).

A análise de tronco completa (ANATRO) de árvores de teca plantadas em Alta Floresta d'Oeste, RO e colhidas aos 13 anos de idade, demonstrou também a redução do fator de forma com a idade a partir do quarto ano, atribuindo conicidade ao fuste das árvores amostradas. A ANATRO possibilita a reconstituição histórica do crescimento, conceituando cada ano de incremento como uma árvore individual (Carneiro et al., 2018). O incremento da conicidade, com a idade e com o diâmetro, bem como os desvios da forma das árvores de teca, representa desafios para o melhoramento genético da espécie, no médio-longo prazo e, para a desrama, o desbaste e as operações da indústria de madeira serrada, no curto prazo.

A conicidade das árvores de teca plantadas em Barra do Bugres, MT (9 anos de idade), variou entre materiais genéticos de origens seminais e clonais, com amplitude entre 1,56-2,03 cm m^{-1} (Queiroz, 2018). Em valores absolutos, a conicidade das árvores seminais foi inferior àquela da maioria dos clones, sendo observada uma diferença de 17,3% quando comparada ao clone de maior conicidade. Este tema demanda ainda por pesquisas, pois impacta diretamente no rendimento da madeira serrada no processo de desdobro e, consequentemente, no valor comercial das toras.

Espessura e proporção de casca das árvores de teca

O termo casca inclui todos os tecidos externos ao câmbio vascular, podendo envolver os tecidos de origem primária e secundária (Figura 2) (Trockenbrodt, 1990; Mazzoni-Viveiros; Costa, 2006). As principais funções da casca nas árvores são: o revestimento e a proteção do lenho (funções do ritidoma e da periderme) e a condução e o armazenamento de nutrientes (fotoassimilados) no floema, podendo também contribuir para a identificação de árvores vivas e toras (Burger; Richter, 1991). A presença de casca espessa pode ter consequências fisiológicas, potencialmente limitando a respiração do tronco (Paine et al., 2010).

A casca está presente nas operações da colheita ao processamento da teca, mas, para a indústria ela ainda possui baixo valor agregado, não sendo utilizada na fabricação de produtos específicos, mas pode ser aproveitada para a geração de energia e, em alguns nichos de mercado, como jardinagem. Em função da contaminação ou sujidade por areia e, também, pela sua constituição química (teor de sílica e elementos minerais), ela pode

impactar na afiação e no desgaste das ferramentas de corte do maquinário durante o desdobro, sendo removidas das toras por descascadores em plantas industriais mais modernas. Em adição, a presença de casca nas peças serradas, para a maioria das normas internacionais de classificação de madeira, representa um defeito de processamento e um decréscimo da classe de qualidade.

A casca das árvores de teca é geralmente fissurada, fibrosa e de cor cinza prateada a marrom clara, o que depende da idade e do ambiente de crescimento. Em alguns casos, é observada pouca alteração nos valores de proporção de casca das árvores de teca, com o avançar da idade e com o incremento do diâmetro. Em árvores da espécie plantadas em Cáceres, MT, nas idades de 4, 5, 6, 7, 8 e 10 anos, as médias ponderadas da proporção de casca no diâmetro das árvores variaram entre 4-6% (Amaral, 2014). Já em outro trabalho, os percentuais de casca representaram valores próximos a 30% do volume total das árvores, em idades iniciais ou de menor diâmetro (Leite et al., 2011).

Em avaliações ao longo da altura de árvores, provenientes de Rio Branco, AC e Acrelândia, AC, foram observados decréscimos das proporções médias de casca com o incremento da idade. Para o intervalo de idade entre 2-4 anos, a média foi 20,9%; entre 5-7 anos, a média foi 19,08% e, entre 8-9 anos, foi 18,05% de casca. Logo, à medida que ocorre o incremento volumétrico, há uma menor proporção de casca nos maiores indivíduos (Figueiredo et al., 2005). Os autores ainda perceberam que as árvores de teca suprimidas ou de menor porte da floresta apresentam proporção de casca média de 23%, enquanto as árvores de maior diâmetro apresentam 15% em média. Indivíduos com 6,5 anos de idade, plantados em Iracema, RR, apresentaram o percentual médio de 25% de casca (Tonini et al., 2009).

Os valores de porcentagem de casca das árvores de teca não alteraram significativamente com o método de propagação do material genético. Esse resultado foi observado para árvores seminais e clonais (clones 61, 62 e 68) colhidas em primeiro desbaste, aos 6 anos de idade, em plantação de Figueirópolis d'Oeste, MT. As porcentagens de casca, em ordem crescente, foram 4,80%, 5,45%, 5,77% e 5,79% para os clones 68, 62 e 61 e material seminal, respectivamente (Oliveira et al., 2017). Resultados semelhantes também foram encontrados para árvores seminais e clonais de teca (4-5 anos), plantadas em Redenção, PA, com médias entre 12-12,60% de casca (Sanquetta et al., 2014).

Árvores de teca plantadas em Angatuba, SP (9,4 anos), Glória d'Oeste, MT (9,5 anos), Porto Espiridião, MT (14,4 anos) e Rosário d'Oeste, MT (18,7 anos) apresentaram valores de proporção de casca de 8,63%, 10,08%, 8,33% e 7,34%, respectivamente (Benedetti,

2018). Para 20 clones de teca plantados em Guanacaste, Costa Rica, aos 15 anos de idade, observou-se média de 0,52 cm de espessura de casca com desvio padrão de 0,97 cm, o que representou cerca de 8,80% do volume (Arce; Moya, 2015).

Em árvores de teca seminais, oriundas de plantações comerciais e experimentais de diferentes localidades do estado Mato Grosso, com idades de 6, 7, 10, 16, 17 e 34 anos, a amostragem da espessura da casca em diferentes posições da altura, resultou em média de 0,67 cm, com uma amplitude entre 0,39-1,08 cm (Vendruscolo et al., 2019). Nessas idades, percebe-se também a redução da espessura da casca, com o aumento da altura relativa e diminuição do diâmetro ao longo do fuste das árvores. Em maiores alturas do fuste, a menor espessura da casca tem relação com a juvenilidade do lenho formado. Enquanto em regiões mais próximas da base, ela aumenta em função do acréscimo de ritidoma que, como mencionado anteriormente, confere uma proteção à região. O maior espessamento da casca como efeito do desbaste foi descrito por Costa (2011).

Na Índia, árvores de teca plantadas em Carnataca, colhidas nas idades entre 11-36 anos, apresentaram, em média, volume de casca de 0,04287 m^3, ou seja, cerca de 35,28% do volume total. A proporção de casca dessas árvores diminuiu com o aumento da idade e do diâmetro à altura do peito (DAP), mas aumentou com a densidade populacional do povoamento (Tewari; Mariswamy, 2013).

A percentagem de casca presente no tronco é objeto de estudos em programas de melhoramento genético para eucalipto e pinus e deve ser considerada na seleção de genótipos de teca, com o objetivo de eleger indivíduos com menor quantidade de casca e que concentrem mais energia no incremento diamétrico.

Elementos anatômicos macroscópicos da madeira de teca

Ao abordar a anatomia da madeira, é comum iniciar as primeiras observações e discussões em função das características macroscópicas do lenho, que podem ser observadas a olho “nu” ou sem ferramentas de auxílio, no topo ou na seção transversal de uma tora, discos ou peças serradas. Já em uma segunda fase, é realizada a análise microscópica do lenho, com o auxílio de lentes de aumento e de microscopia, sendo necessário o polimento da superfície transversal com um elemento cortante e cortes finos da seção transversal, radial e tangencial em micrótomo para a montagem de lâminas histológicas. Para a análise

microscópica da morfologia das fibras e a ultraestrutura da parede celular, é ainda necessária a realização de macerados com elementos químicos para a individualização das fibras.

Pela análise macroscópica do topo de um disco de teca recém-serrado e, ainda, sem polimento, é possível visualizar a casca, o cerne, o alburno, a medula e os anéis de crescimento (Figura 2). Cada uma das partes lenhosas do diâmetro das árvores de teca será descrita a seguir, separadamente. Pela visualização do topo é possível analisar outras características como: figuras, manchas, nodosidades, rachaduras, deteriorações, excentricidades da medula e variações na circularidade e na forma.

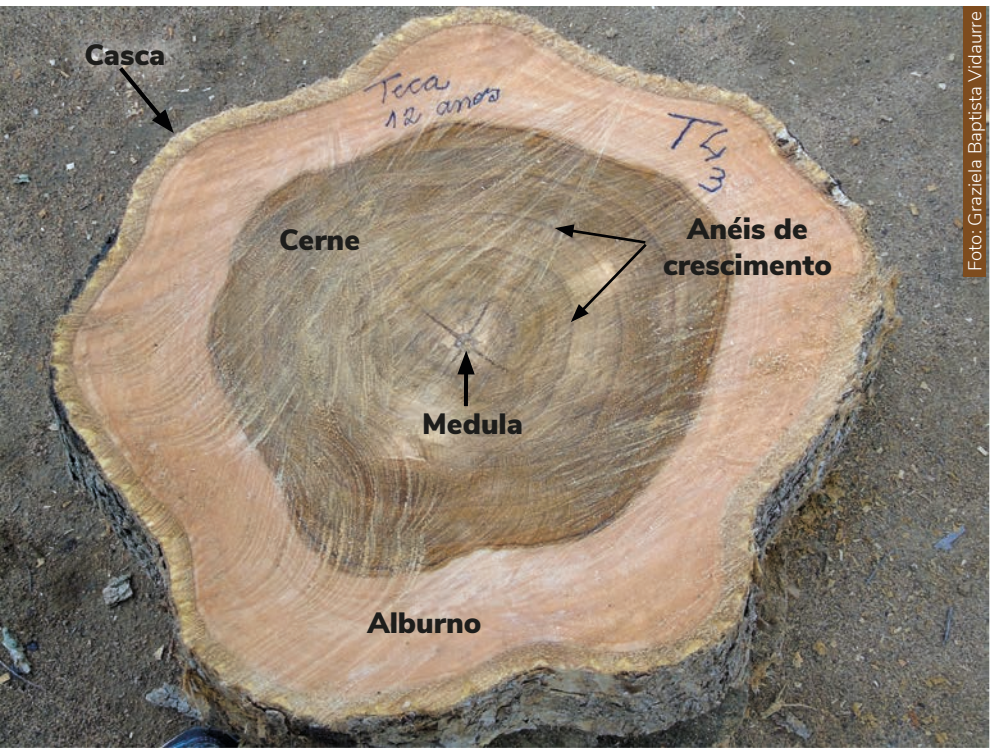


Figura 2. Seção transversal ou de topo de disco, recém-serrado e sem polimento de árvore de teca, aos 12 anos de idade, consorciada com café conilon e proveniente do município de Sooretama, ES.

Proporção e propriedades do cerne e do alburno

O cerne e o alburno têm efeitos diretos no beneficiamento, na utilização, no aspecto estético, nas demais propriedades e no valor de mercado da madeira de teca (Figura 2). Para a maioria das espécies folhosas tropicais, a formação de cerne é de coloração mais escura, durável e menos permeável, enquanto o alburno possui cores mais claras, menor durabilidade natural, sendo permeável e tratável. Dessa forma, ao considerar que as dimensões, a forma e a nodosidade das toras atendem aos níveis aceitáveis de normatização e de mercado, a lucratividade é substancialmente influenciada pela sua proporção de alburno (Thulasidas; Baillères, 2017).

O cerne é geralmente formado pela morte das células vivas do alburno, na região de transição, mais próxima ao câmbio da árvore. A formação do cerne é uma manifestação do envelhecimento, controlada por vários processos fisiológicos complexos e pelos genótipos das árvores de determinada espécie (Datta; Kumar, 1987).

Em relação às metodologias utilizadas, existem trabalhos que, durante a medição, segregam as regiões de medula, de cerne e de alburno e outros que consideram apenas as regiões de cerne e alburno. A opção de considerar a dimensão da medula inserida na de cerne como uma única estrutura se torna equivocada, pois há diferenças anatômicas e físico-químicas entre esses tecidos. Como a medula da teca é distinta, é importante separar essa estrutura durante os cálculos, aumentando a precisão das análises. Além disso, as peças serradas que contêm medula serão separadas daquelas provenientes do cerne e do alburno durante a classificação, por causa de suas limitações em termos de qualidade, de resistência e de baixo valor agregado.

Para árvores de teca jovens, provenientes de Cáceres, MT, a proporção de cerne aumenta e representa 42% do fuste, aos dez anos de idade, enquanto a quantidade de alburno decresce de acordo com o aumento do diâmetro, em paralelo ao avançar da idade das árvores (Figura 3). Em relação ao espaço temporal entre 4-10 anos, as diferenças anuais, bianuais e trienais, no decréscimo de proporção de alburno e no acréscimo de cerne da teca, são maiores ao considerar as idades mais jovens, o que tem relação com a velocidade de crescimento, maior nessa fase juvenil. No intervalo total avaliado de seis anos, o alburno decresceu 34%, sendo este um dos objetivos da silvicultura das plantações tropicais de teca de curta rotação, produzir o volume máximo de cerne com a redução do alburno de baixa durabilidade natural (Thulasidas; Baillères, 2017).

O aumento da proporção de cerne com o avanço da idade entre 13-65 anos também foi observado para árvores de teca plantadas na Índia (Figura 4). Na longa rotação (a partir dos 30 anos de idade), diferenças de até dez anos entre as árvores só possibilitaram um incremento de 2,70% na proporção de cerne, fato explicado pela pequena variação do seu diâmetro em idades mais avançadas ou adultas. Em idades adultas, há uma diminuição na velocidade do crescimento, sendo o incremento em diâmetro e da proporção de cerne reduzidos, ao padronizar uma altura do tronco, no caso o DAP (1,3 m do solo). Ao mesmo tempo, a formação do cerne ocorre em alturas mais elevadas do fuste. A proporção de alburno é inversamente proporcional ao aumento da idade das árvores, porém a sua espessura só aumentou até 35 anos e, a partir daí, diminuiu linearmente até os 65 anos.

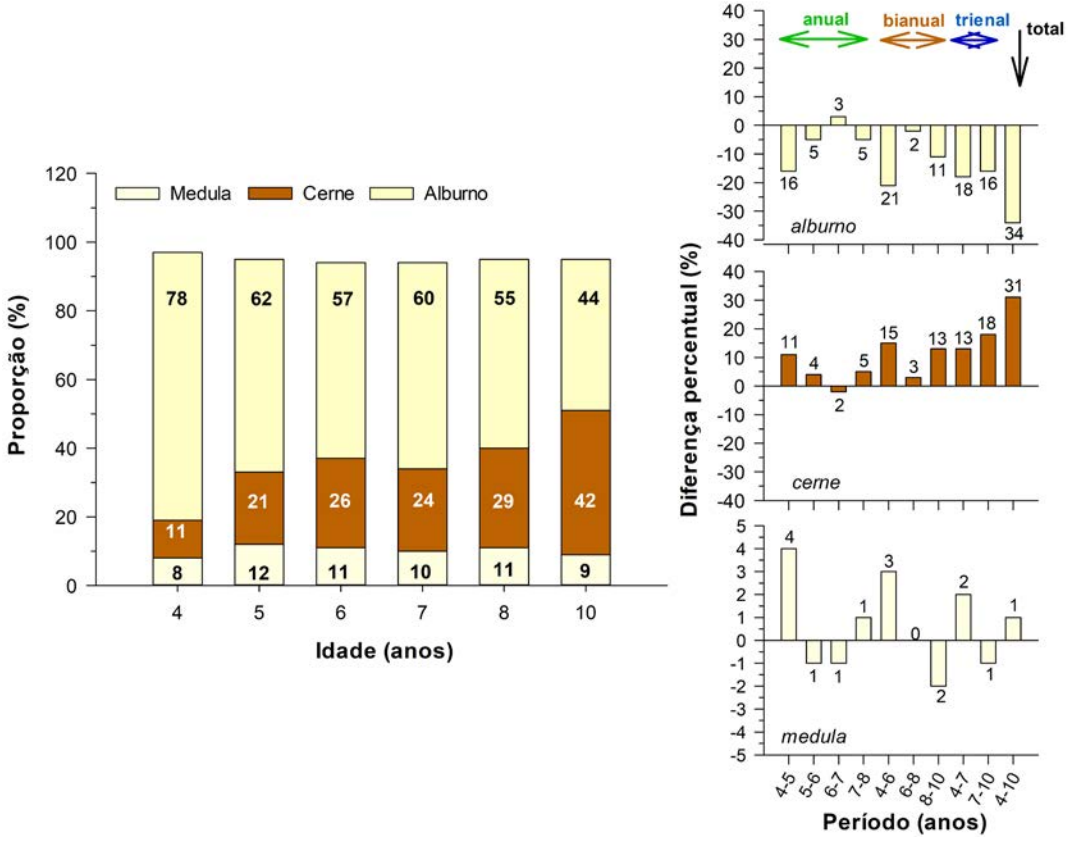


Figura 3. Proporções de medula, de cerne e de alburno em função das idades das árvores de teca, provenientes de Cáceres, MT e as suas diferenças percentuais por período: anual, bianual, trienal e total.

Legenda: Proporção (%) representa a média ponderada de cada região macroscópica do fuste.

Fonte: Adaptado de Amaral (2014).

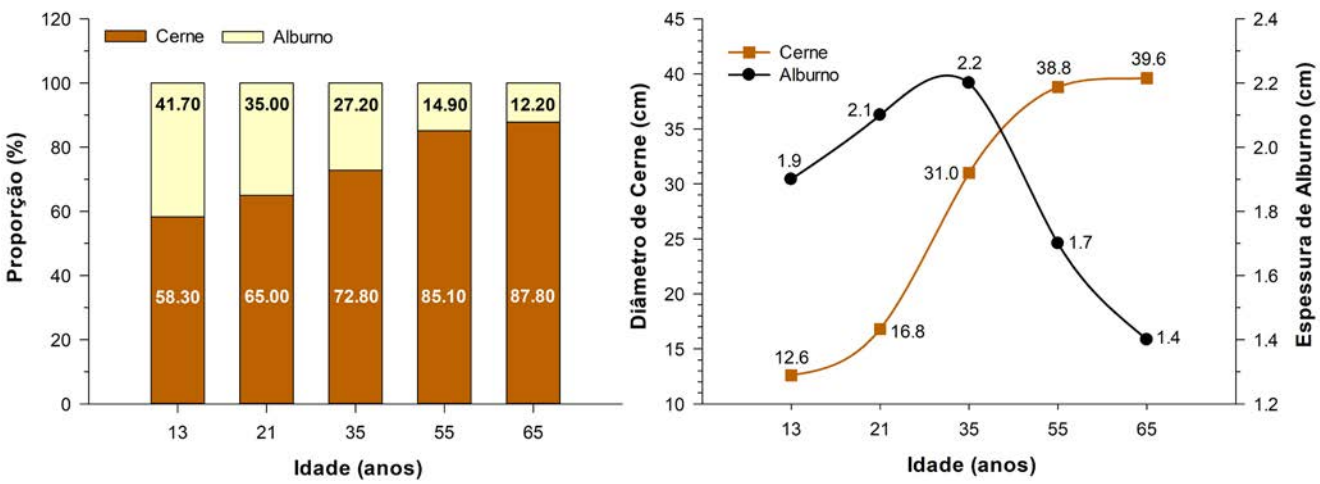
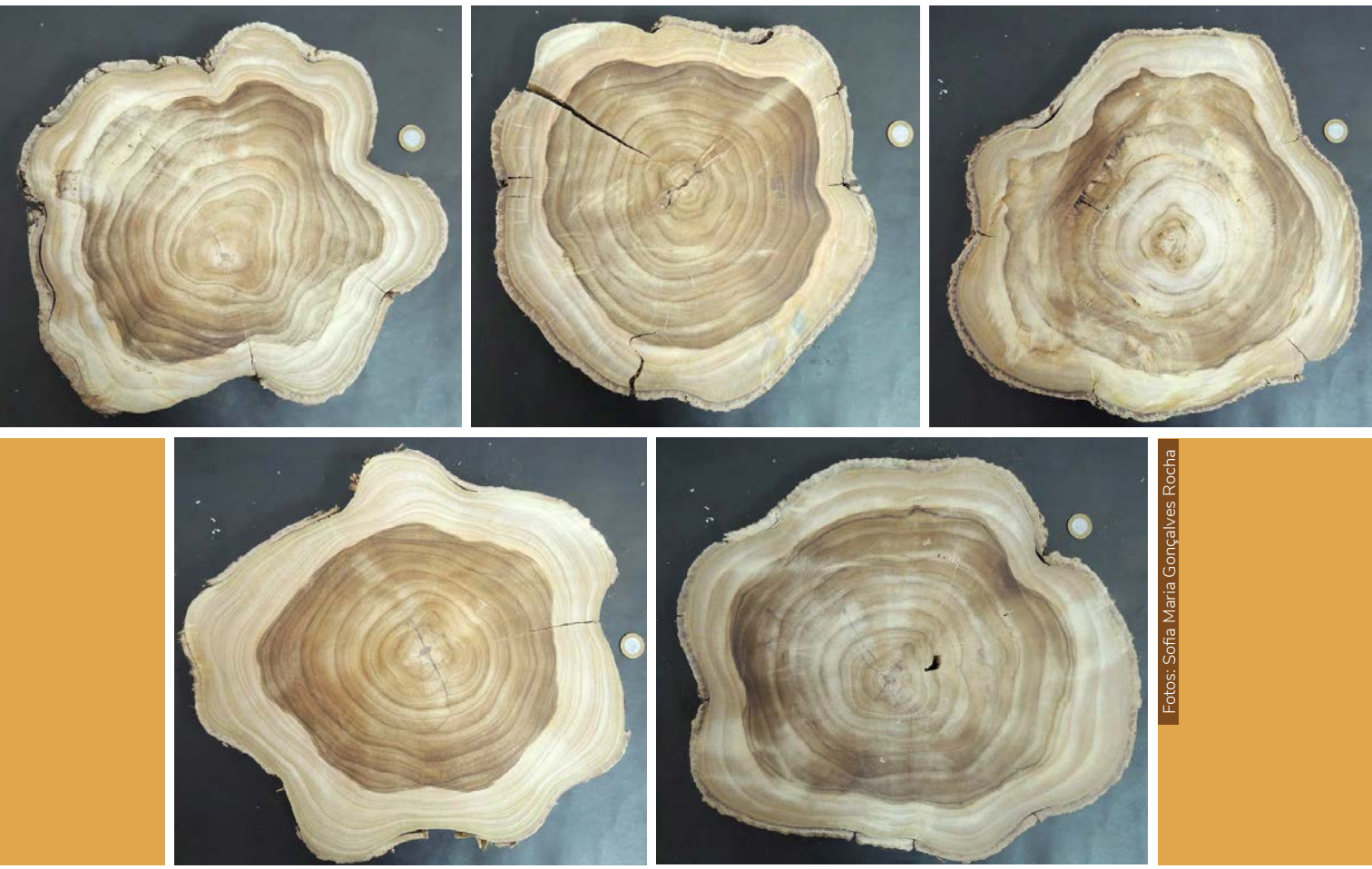


Figura 4. Proporções e dimensões do cerne e do alburno, amostrados no diâmetro à altura do peito de árvores de teca, em diferentes idades, provenientes de plantações em Nilambur, Índia.

Fonte: Adaptado de Bhat (1998) e Thulasidas e Bhat (2009).

Teoricamente, o formato do cerne apresenta a tendência de ser semelhante ao do tronco. Contudo, os desvios do formato do cerne em árvores de teca de origem seminal (12 anos de idade), plantadas em consórcio com café conilon em Sooretama, ES, foram menos acentuados que os desvios da seção transversal dos discos, apresentando variações entre as árvores (Figura 5). A variação de formato do cerne na seção transversal dos discos de teca possibilita uma importante observação prática para os laboratórios, de considerar a representatividade de número maior de raios em sua mensuração, pois a maioria das metodologias utiliza apenas quatro raios. Um raio nesse caso significa o eixo entre a medula e a casca e o eixo entre a medula e o limite do cerne.



Fotos: Sofia Maria Gonçalves Rocha

Figura 5. Formatos de cerne nas seções transversais de discos polidos de cinco árvores de teca, aos 12 anos de idade, consorciadas com café conilon, provenientes do município de Sooretama, ES.

Aumentos nos valores da relação cerne/alburno com a idade foram observados para árvores de teca plantadas em Nova Maringá, MT. Foram avaliadas as idades de 10, 12, 14 e 16 anos, que apresentaram médias de 0,54, 0,61, 1,06 e 0,97, respectivamente

(Canal, 2017). Os valores da relação cerne/alburno não tiveram diferenças significativas entre as idades de 14-16 anos, o que pode estar relacionado à estabilização do crescimento da copa das árvores nessas idades. A formação de cerne na madeira de teca plantada no Brasil ainda carece de pesquisas para verificar como as taxas de crescimento, as condições climáticas e os métodos de manejo interferem na produção e na formação deste tipo de lenho.

Pesquisas têm sido realizadas com a modelagem matemática do afilamento do fuste, volumes e proporções de cerne e de alburno e, também, de casca em árvores de teca (Pérez Cordero; Kanninen, 2003; Kokutse et al., 2004; Leite et al., 2011; Oliveira, 2014; Berrocal et al., 2020). Essas equações permitem a obtenção de estimativas dessas variáveis durante o inventário florestal e, também, podem ser utilizadas pelo próprio produtor ou investidor, ao fazer o seu planejamento e o controle do crescimento e da produção florestal. Cabe informar sobre a importância de observar se os modelos serão representativos para o cenário da plantação avaliada.

Em função do material genético, da idade e do local de crescimento, as proporções de cerne e de alburno em árvores de teca apresentam variações. Uma síntese dessa conjuntura é descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Dimensões e proporções de cerne e de alburno de árvores de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil e em outros países.

Local	Idade (anos)	DCer. (cm)	EAlb. (cm)	Cer.%	Alb.%	Referência
Brasil						
Redenção, PA	$4\text{-}5_{(C)}$	-	-	22,17	77,83*	Sanquetta et al. (2014).
	$4\text{-}5_{(S)}$	-	-	10,81	89,19*	
Jangada, MT e Cáceres, MT	5	9,66	2,64	-	-	Pinto (2007).
Figueirópolis d'Oeste, MT	$6_{(C61)}$	-	-	26,70	64,66	Oliveira et al. (2017).
	$6_{(C62)}$	-	-	33,68	58,29	
	$6_{(C68)}$	-	-	34,32	56,98	
	$6_{(S)}$	-	-	20,77	69,00	
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	-	-	41,39	58,61	Queiroz (2018).
	$9_{(C00)}$	-	-	42,77	57,23	
	$9_{(C01)}$	-	-	42,06	57,94	
	$9_{(C02)}$	-	-	51,78	48,22	
	$9_{(C08)}$	-	-	43,32	56,68	
	$9_{(C80)}$	-	-	39,20	60,80	

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Local	Idade (anos)	DCer. (cm)	EAlb. (cm)	Cer.%	Alb.%	Referência
Brasil						
Angatuba, SP	9,4	-	-	24,88	66,00	Benedetti (2018).
Glória d'Oeste, MT	9,5	-	-	34,51	55,12	Benedetti (2018).
Jangada, MT e Cáceres, MT	10	10,82	2,83	-	-	Pinto (2007).
Vazante, MG	13	-	-	51,44	48,56	Flórez (2012).
Nossa Senhora do Livramento, MT	13	-	-	44,81	54,58	Pinto et al. (2017).
Porto Espiridião, MT	14,4	-	-	47,99	43,52	Benedetti (2018).
Rosário d'Oeste, MT	18,7	-	-	56,26	36,26	Benedetti (2018).
Jangada, MT e Cáceres, MT	30	33,45	3,61	-	-	Pinto (2007).
Outros Países						
Campeche, México	5	-	-	0,00 - 15,00	85,00 - 100,00	Anda et al. (2019).
Austrália	6	-	-	39,00	61,00*	Hopewell et al. (2011).
Ilhas Salomão	6,5	-	-	43,00	57,00*	Hopewell et al. (2011).
Nilambur, Kerala, Índia	8	-	-	30,10	69,90*	Bhat (1995).
Campeche, México	9	-	-	42,00 - 74,00	26,00 - 58,00	Anda et al. (2019).
Ilhas Salomão	10	-	-	48,00	52,00*	Hopewell et al. (2011).
Costa Rica	10	-	-	38,30	61,70*	Moya et al. (2013).
Gana	$10_{(SS)}$	-	-	60,42	39,58*	Amoah e Inyong (2019).
	$10_{(SU)}$	-	-	7,67	92,33*	
Carnataca, Índia	11-36	-	-	46,35	18,37*	Tewari e Mariswamy (2013).
Ilhas Salomão	15	-	-	67,00	33,00*	Hopewell et al. (2011).
Sabá, Malásia	15	-	-	44,6 - 65,5*	34,5 - 55,4	Josue e Imiyabir (2011).
Guanacaste, Costa Rica	15[1]	17,60	2,36	56,70	43,30*	Arce e Moya (2015).

Continua . . .

Tabela 2. Continuação.

Local	Idade (anos)	DCer. (cm)	EAlb. (cm)	Cer.%	Alb.%	Referência
Outros Países						
Campeche, México	15	-	-	63,00 - 83,00	17,00 - 37,00	Anda et al. (2019).
Tabasco, México	15	-	-	72,00 - 82,00	18,00 - 28,00	Anda et al. (2019).
Gana	$15_{(SS)}$	-	-	68,11	31,89*	Amoah e Inyong (2019).
	$15_{(SU)}$	-	-	27,22	72,78*	
	$20_{(SS)}$	-	-	70,83	29,17*	
	$20_{(SU)}$	-	-	36,66	63,34*	
Benin	20-25	-	-	61,25	38,75*	Hounlonon et al. (2017).
Tanzânia	20-25	-	-	64,87	35,13*	Hounlonon et al. (2017).
Chiapas, México	21	-	-	76,00 - 86,00	14,00 - 24,00	Anda et al. (2019).
Togo	$24_{(Asup)}$	-	2,01	65,00	35,00*	Kokutse et al. (2010).
	$24_{(Aco)}$	-	2,41	70,00	30,00*	
	$24_{(Ado)}$	-	2,10	77,00	30,00*	
Maharashtra, Índia	27	-	-	56,01	27,52	Narayanan et al. (2009).
Timor Leste	50-70	-	1,77	84,30	15,70*	Miranda et al. (2011).
Java Central, Indonésia	NI	-	2,00	80,50	19,50*	Lukmandaru (2015).

Legenda: DCer.: diâmetro de cerne; EAlb.: espessura de alburno; % Cer.: proporção de cerne; % Alb.: proporção de alburno. C: origem clonal; * Proporção calculada pelos autores; S: origem seminal. SS: sítio seco; SU: sítio úmido. Asup: árvores suprimidas, altura ≤ 18,00 m; Aco: árvores codominantes com altura entre 18,01-21,29 m; Ado: árvores dominantes, com altura ≥ 21.30 m. 1 média para 20 clones; NI: não informado.

No Brasil, a amplitude das proporções de cerne em árvores de teca com idades entre 4-18,7 anos é 10,80-56,30% (Tabela 2). É importante destacar os efeitos dos genótipos, dos locais de crescimento e dos diferentes métodos de mensuração das dimensões do cerne utilizados. Para outros países, as madeiras de teca avaliadas nas idades entre 5-70 anos apresentaram faixa de variação entre 7,50-84,30% para a proporção de cerne. A idade também contribuiu para essa faixa, porém, ao estabilizar esse fator, tal como ocorrido aos 15 anos de idade, observa-se um maior efeito do local de crescimento e, provavelmente, do material genético, na proporção de cerne. Em seu estudo, Kokutse et al. (2004) descreveram que a

formação do cerne nas árvores de teca pode ser afetada por fatores climáticos e edáficos do ambiente de crescimento.

Para a teca oriunda de outros países, observa-se uma amplitude de valores de espessura de alburno entre 1,77-2,41 cm para idades entre 15-70 anos. No Brasil, os valores de espessura de alburno variaram entre 2,64-3,61 cm para idades entre 5-30 anos. A avaliação da espessura de alburno é importante para a otimização dos modelos de corte utilizados no desdobro de toras de teca, principalmente em idades jovens. No desdobro de blocos (square cuts), produto exportado pelas serrarias que processam teca no Brasil, tem-se por objetivo retirar a casca e o alburno, regiões que possibilitam a deterioração, e esquadrejar as peças para serem acomodadas em contêineres, facilitando o transporte. Uma outra vertente, é a preservação do material em usinas de tratamento de madeira (autoclaves), visto que o alburno é a região da tora que permite a impregnação e permeabilidade dos produtos preservativos utilizados.

Alterações nas proporções de cerne e de alburno de materiais de origens clonais e seminais foram observadas em árvores, aos seis anos de idade, provenientes de Figueirópolis d'Oeste, MT, submetidas ao mesmo local de crescimento e tratos silviculturais. As proporções de cerne foram superiores nos clones, com diferença de até 39,5% (Oliveira et al., 2017). Esse resultado possui relação direta com o incremento diamétrico das árvores clonais e seminais que, para o material avaliado, mostraram diferenças de até 3,7 cm no DAP. A proporção média de cerne das árvores seminais comparada com àquelas de cinco clones, aos nove anos, plantados em Barra do Bugres, MT, só foi inferior a observada para um clone (MT02), sendo semelhante às estimativas dos demais materiais genéticos (Queiroz, 2018).

A proporção média de cerne em árvores clonais foi 51,24% superior àquela de origem seminal, plantadas em Redenção, PA, com idade entre 4-5 anos (Sanquetta et al., 2014). Para 35 árvores clonais e seminais, foi percebida a inexistência da formação cerne, o que pode estar associado com a idade jovem do material. Esse resultado, apesar de atrelado ao genótipo e ao local de crescimento, possibilita a suposição de que a formação de cerne na madeira de teca plantada no Brasil se inicia entre 3-5 anos de idade. Soma-se a essa ideia, a relação direta da proporção de cerne com o aumento da idade e do diâmetro das árvores. Para Bhat (1998) e Moya et al. (2014), a formação de cerne da teca se inicia quando a árvore tem entre 4-6 anos ou seu diâmetro varia entre 6-10 cm.

A proporção de cerne aumenta com a taxa de crescimento das árvores de teca, o que é manifestada no incremento do DAP. Contudo, o efeito da taxa de crescimento na relação cerne/alburno apresenta a tendência de diminuir com a idade, como mencionado anteriormente.

Logo, é possível produzir toras de grande diâmetro com maior proporção de cerne durável, acelerando o crescimento das árvores, por meio de programas de melhoramento genético e intervenções silviculturais em plantações de curta rotação (Kokutse et al., 2004; Thulasidas; Baillères, 2017). Isto é um fator muito positivo para as plantações de teca. Árvores jovens de teca (oito anos), oriundas de Nilambur, Índia, apresentaram correlação (r) positiva e significativa entre os valores de proporção de cerne e de largura dos anéis de crescimento (r = 0,73), sendo superior à correlação apresentada da proporção de cerne com o DAP (r = 0,46). Estes resultados indicam que o rápido crescimento das árvores de teca está associado à maior proporção de cerne (Bhat, 1995). Contudo, essa relação ainda precisa ser investigada em plantações comerciais da espécie, em diferentes ambientes no Brasil.

A produtividade de uma plantação comercial em Alta Floresta, MT influenciou nos valores de proporção de cerne de árvores de teca, com idades entre 14-16 anos. Os valores de proporção de cerne variaram entre 34,7-50,1%, tendo as árvores cultivadas em sítios com índices de produtividade superior, maior proporção de cerne (Oliveira, 2014). Neste argumento de maior proporção de cerne com o aumento da taxa ou velocidade de crescimento e da produtividade florestal, cabe a exposição de que essa é uma realidade para as árvores jovens de teca de curta rotação (< 30 anos). Nas árvores de longa rotação, a taxa de crescimento passa a não alterar significativamente a proporção de cerne. Portanto, fica evidente que a idade da árvore é fator mais importante do que a taxa de crescimento na influência da proporção de cerne da madeira de teca (Bhat; Indira, 1997).

Para o melhor entendimento das características desses tecidos da madeira das árvores de teca, é realizado um comparativo qualitativo das propriedades na Tabela 3. A análise quantitativa das propriedades do cerne e alburno é descrita nas seções de anatomia, de química, de cor e de físico-mecânicas da madeira.

Resumidamente, pela análise da Tabela 3, observa-se que as morfologias das fibras e dos vasos do cerne e do alburno de teca variam com as idades e locais de crescimento, sendo ora semelhantes, ora menores ou maiores no cerne. Os comprimentos das fibras foram semelhantes entre cerne e alburno para madeira acima dos 14 anos de idade oriunda do Mato Grosso, enquanto as espessuras da parede das fibras foram menores apenas no cerne do material oriundo de Angatuba, SP (9,4 anos de idade). Os valores de diâmetro tangencial, de frequência e de comprimento dos elementos de vasos foram homogêneos entre o cerne e o alburno, para a maioria dos materiais. A frequência de vasos foi a única variável anatômica que foi maior no cerne em relação ao alburno. Destaca-se que essas diferenças ocorrem também em virtude da variação radial ao tronco das propriedades da madeira.

Tabela 3. Comparativo qualitativo das propriedades das madeiras do cerne e do alburno de teca, colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil e em outros países.

Material Local / Idade (anos)	Propriedade	Cerne	Alburno
Anatomia			
Barra do Bugres, MT / 9; Angatuba, SP / 9,4; Glória d'Oeste, MT / 9,5	Comprimento das fibras	<	>
Porto Espiridião, MT / 14,4; Rosário d'Oeste, MT / 18,7	Comprimento das fibras	=	
Barra do Bugres, MT / 9; Glória d'Oeste, MT / 9,5; Porto Espiridião, MT / 14,4; Rosário d'Oeste, MT / 18,7	Espessura de parede das fibras	=	
Angatuba, SP / 9,4	Espessura de parede das fibras	<	>
Barra do Bugres, MT / 9	Diâmetro tangencial dos vasos	<	>
Angatuba, SP / 9,4; Glória d'Oeste, MT / 9,5; Porto Espiridião, MT / 14,4; Rosário d'Oeste, MT / 18,7	Diâmetro tangencial dos vasos	=	
Glória d'Oeste, MT / 9,5	Frequência dos vasos	>	<
Barra do Bugres, MT / 9; Angatuba, SP / 9,4; Porto Espiridião, MT / 14,4; Rosário d'Oeste, MT / 18,7	Frequência dos vasos	=	
Barra do Bugres, MT / 9	Comprimento do elemento de vaso	<	>
Angatuba, SP / 9,4; Glória d'Oeste, MT / 9,5; Porto Espiridião, MT / 14,4; Rosário d'Oeste, MT / 18,7	Comprimento do elemento de vaso	=	
Físico-mecânicas			
Tangará da Serra, MT / 6	Densidade aparente (12%)	=	
Cáceres, MT / 12	Densidade aparente (12%)	<	>
Java, Indonésia / > 10	Compressão paralela às fibras	=	
	Tração paralela às fibras	>	<
	Cisalhamento	=	
	Módulo de ruptura (MOR)	=	
	Módulo de Elasticidade (MOE)	>	<
Costa Rica / 10	MOE Dinâmico	<	>

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Material Local / Idade (anos)	Propriedade	Cerne	Alburno
Químicas			
Tangará da Serra, MT / 6; Cáceres, MT / 12; Província de Yunnan, China / 18; Cuiabá, MT / 20; Java Central, Indonésia / 32	Extrativos totais	>	<
Tangará da Serra, MT / 6; Província de Yunnan, China / 18; Cuiabá, MT / 20; Timor Leste / 70	Lignina total	=	
Timor Leste / 70	Lignina S, G e H	=	
	Relação S/G	=	
Tangará da Serra, MT / 6; Java Central, Indonésia / 32	Holocelulose	<	>
Timor Leste / 70	Carboidratos totais	=	
Timor Leste / 50-70	Glucose, Xilose, Manose, Arabinose e Galactose	=	
	Ramnose	<	>
Java Central, Indonésia / 32	Cinzas e Potássio	<	>
	Cálcio	>	<
	Ferro e pH	=	
Colorimetria			
Indonésia / 5 e 7; Costa Rica / 7-15; Barra do Bugres, MT / 9; São José do Rio Claro, MT / 10, 13 e 17; Sooretama, ES / 10; Cáceres, MT / 12; Java Central, Indonésia / 32; Indonésia / 65	L*	<	>
Indonésia / 5 e 7; Costa Rica / 7-15; Barra do Bugres, MT / 9; São José do Rio Claro, MT / 10, 13 e 17; Sooretama, ES / 10; Cáceres, MT / 12; Java Central, Indonésia / 32; Indonésia / 65	a*	>	<
Costa Rica / 7-15; Barra do Bugres, MT / 9; São José do Rio Claro, MT / 17; Indonésia / 65	b*	=	
Indonésia / 5 e 7; São José do Rio Claro, MT / 10 e 13; Sooretama, ES / 10; Cáceres, MT / 12	b*	>	<
Java Central, Indonésia / 32	b*	<	>
Barra do Bugres, MT / 9; São José do Rio Claro, MT / 10, 13 e 17; Java Central, Indonésia / 32	h*	<	>
Barra do Bugres, MT / 9; São José do Rio Claro, MT / 10, 13 e 17	C	>	<
Java Central, Indonésia / 32	C	<	>

Continua . . .

Tabela 3. Continuação.

Material Local / Idade (anos)	Propriedade	Cerne	Alburno
Durabilidade natural aos fungos			
Cuiabá, MT / 20	*Trametes versicolor* [1]	AR[3]	MR
Tangará da Serra, MT / 6; Costa Rica / 10	*Trametes versicolor* [1]	R	MR
Tangará da Serra, MT / 6	*Gloeophyllum Trabeum*[2]	AR	AR
Cuiabá, MT / 20	*Gloeophyllum Trabeum*[2]	R	MR
Belo Oriente, MG / 15; Cuiabá, MT / 20	*Postia placenta*[2]	AR	R
Costa Rica / 10	*Pycnoporus sanguineus*[1]	AR	R
Belo Oriente, MG / 15	*Neolentinus lepideus*[2]	AR	R
	Polyporus fumosus [1]	AR	MR
Durabilidade natural aos térmitas			
Guarapari, ES / 6-7	*Cryptotermes brevis*	Min	MO
Belo Oriente, MG / 15	*Nasutitermes* sp.	Leve	Falha

<: menor; >: maior; =: semelhante; Lignina S: siringila; Lignina G: guaiacila; Lignina H: p-hidroxifenila; L*: claridade ou luminosidade; a*: matiz do eixo verde-vermelho; b*: matiz azul-amarelo; h*: ângulo de tinta; C: saturação; AR: altamente resistente; MR: moderadamente resistente; R: resistente; Min: desgaste mínimo; MO: desgaste moderado; Leve: desgaste leve ou superficial; Falha: desgaste total da amostra; [1] Podridão branca; [2] Podridão parda; [3] Classificação realizada pelos autores conforme norma ASTM D-2017 (2005); IPT (1980) e norma ASTM D-3345 (2008).

O alburno da teca foi mais denso que o cerne em material aos 12 anos de idade proveniente de Cáceres, MT, porém as madeiras de cerne e de alburno possuem densidades semelhantes em Tangará da Serra, MT, aos seis anos. O incremento da densidade com a idade, somado ao genótipo, tem efeito nessa divergência de densidade do cerne e do alburno entre os materiais. A resistência à compressão paralela às fibras e ao cisalhamento, bem como o módulo de ruptura à flexão estática, foram semelhantes entre o cerne e o alburno. Os valores de resistência à tração paralela e de módulo de elasticidade no ensaio de flexão estática são superiores na madeira de cerne. Em função do incremento de densidade, no comprimento e na espessura da parede das fibras, na região do alburno é formada madeira de maior rigidez, especificada pelo módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Os corpos de prova normatizados para os ensaios das propriedades mecânicas da madeira apresentam dimensões da seção transversal que, por vezes, não permitem uma amostragem apenas do alburno que, como descrito anteriormente, possui espessura de até 3,6 cm. Logo, as comparações entre esses tecidos ficam restritas às amostragens na região de transição do cerne e alburno e do cerne interno.

As árvores clonais e seminais de teca, aos nove anos de idade, plantadas em Barra do Bugres, MT, apresentaram semelhanças nos valores de resistência à compressão perpendicular

às fibras, à dureza Janka e aos módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) no ensaio de flexão estática (Queiroz, 2018). A única diferença significativa foi observada para a resistência à compressão paralela às fibras, sendo superior na região de transição do cerne e do alburno. Uma possível explicação para essa diferença observada na compressão paralela às fibras está nas dimensões dos corpos de prova, que possuem seção transversal de 2,5 cm x 2,5 cm, com amostragens de regiões do lenho com idades e taxas de crescimento diferenciadas e mais representativas da realidade do alburno.

O cerne de teca possui maiores teores de extrativos e de cálcio e menores teores de ramnose, de cinzas e de potássio que o alburno, independentemente da idade e do local de crescimento (Tabela 3). Semelhanças entre cerne e alburno ocorrem para teores de lignina (total, S, G e H), relação S/G, carboidratos totais, a maioria dos açúcares, ferro e pH. O teor de holocelulose foi variável, ora semelhante, ora menor no cerne. Frequentemente relacionada à química da madeira, a cor do cerne de teca possui menor claridade (L*) e ângulo de tinta (h*) e maior concentração de matiz vermelho (a*), quando comparada à cor do alburno. Já a tonalidade amarela (b*) e a saturação da cor (C) do cerne e do alburno possuem variações com a idade e com o local de crescimento das árvores.

Quanto aos ataques de fungos de podridão branca e parda, as madeiras de cerne da teca foram classificadas como resistentes a altamente resistentes, enquanto as madeiras de alburno variaram de moderadamente resistentes a altamente resistentes, o que depende da espécie de fungo xilófago e genótipo da teca. Os desgastes causados pelos ataques de térmitas subterrâneos e de madeira seca foram mínimos a leves para o cerne, e de moderados à degradação total no alburno. O conhecimento das percentagens de cerne e de alburno ao longo do tronco de árvores, assim como as diferenças nas propriedades da madeira entre esses dois tipos de lenhos, são importantes direcionadores das operações de beneficiamento e, também, na definição de valores da madeira.

Medula: características e dimensões

A medula da teca é bem característica da espécie. Ela possui aspecto esponjoso, com baixa resistência ao toque, podendo quebrar ou afundar facilmente e com coloração clara e brilhante (Figura 6). Sua forma é distinta e heterogênea (oval, hexagonal, retangular ou circular), podendo apresentar deslocamento ou excentricidade em relação ao eixo longitudinal da árvore. Em vista das menores dimensões das toras, ela pode ser mais problemática em árvores jovens, reduzindo a resistência mecânica e a classe de qualidade, se presente nas

peças serradas produzidas. A sua baixa resistência mecânica é explicada pela região da medula ser formada por tecido parenquimático, com células de paredes finas. A depender das substâncias, que ficam armazenadas no interior desse tecido, há o aumento de sua atratividade aos xilófagos.

As avaliações das dimensões, das proporções e das características da medula em diferentes genótipos de teca são importantes para a seleção daqueles mais adequados ao suprimento da indústria. Além disso são também relevantes para diagnóstico dos efeitos dos tratos silviculturais e das variáveis do crescimento e para o ajuste das operações, com a adequação dos modelos de corte a serem utilizados no desdobro, ponderando a produção de peças serradas isentas deste defeito.

Para árvores jovens de teca provenientes de Cáceres, MT, as proporções de medula se mantiveram praticamente constantes (8-12%) com o avanço da idade (Figura 3). As árvores seminais apresentaram proporção de medula superior às clonais, com diferença de até 30,5%. Estes materiais foram plantados em Figueirópolis d'Oeste, MT e colhidos aos seis anos de idade, com amplitude entre 5,06-7,28% de medula em relação ao diâmetro do fuste (Oliveira et al., 2017).

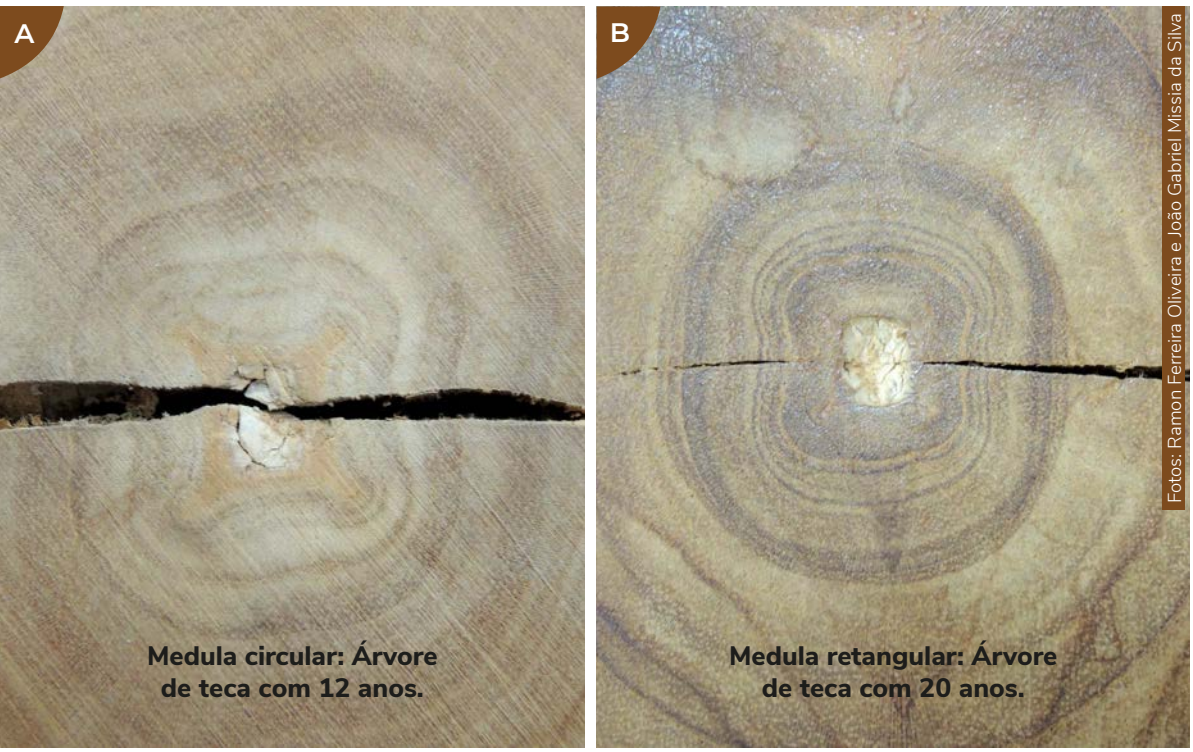


Figura 6. Características e formatos das medulas de árvores de teca, aos 12 anos (A) e 20 anos de idade (B).

Árvores de teca, plantadas em Angatuba, SP (9,4 anos), Glória d'Oeste, MT (9,5 anos), Porto Espiridião, MT (14,4 anos) e Rosário d'Oeste, MT (18,7 anos), apresentaram valores de excentricidade da medula de 7,40%, 6,99%, 5,35% e 5,14%, respectivamente (Benedetti, 2018). Visualiza-se uma tendência de redução da excentricidade da medula com a idade das árvores. Árvores de teca com origem seminal, plantadas em Vazante, MG, aos 13 anos de idade, apresentaram amplitude de valores de excentricidade de medula entre 4,93-14,99% (Flórez, 2012). Já árvores clonais de teca plantadas na Costa Rica apresentaram, aos 15 anos de idade, diâmetro médio de medula de 0,79 cm e 8,01% de excentricidade. A variabilidade de diâmetro da medula desses materiais pode ser considerada alta, com amplitude entre 0,53-1,27 cm (Arce; Moya, 2015). Assim, é importante considerar uma menor percentagem de medula na seleção de genótipos, devido às suas características que não agregam valor na produção de madeira serrada. Ressalta-se que essa é uma característica da madeira de fácil mensuração.

Anéis de crescimento

As variabilidades sazonais de temperatura e de precipitação pluviométrica, ao longo do período de crescimento das árvores, afetam as suas atividades cambiais e induzem à formação de anéis de crescimento distintos em espécies tropicais. Em espécies folhosas, a atividade do meristema cambial está geralmente relacionada à largura dos anéis de crescimento, às faixas de parênquima, de diâmetro e de distribuição dos vasos. Nesse grupo, os anéis formados apresentam estruturas anatômicas distintas, em função da adaptação dos genótipos e da magnitude do gradiente climático entre as estações de crescimento (Albuquerque et al., 2016).

Os anéis de crescimento das árvores de teca são, geralmente, distintos e perceptíveis a olho nu. Portanto, a espécie possui potencial para estudos dendrocronológicos, dendroquímicos, dentre outros e ANATRO, utilizada para compor um histórico do crescimento e da produção. A porosidade em anel do lenho de teca, assim como a associação do parênquima axial de coloração clara e disposto em faixas terminais junto aos vasos de maior diâmetro, que compõem o lenho inicial e que delimitam a transição para o lenho tardio, demarcam os anéis de crescimento (Castro, 2011). Esta distinção dos anéis de crescimento também facilita as pesquisas que envolvem a variação anual das propriedades da madeira, que são relevantes e pontuais na avaliação dos impactos das condições climáticas e do manejo florestal nas alterações anuais na qualidade da madeira. Na Figura 7 é possível observar que os anéis de crescimento da teca são bem distintos na seção transversal do disco, com

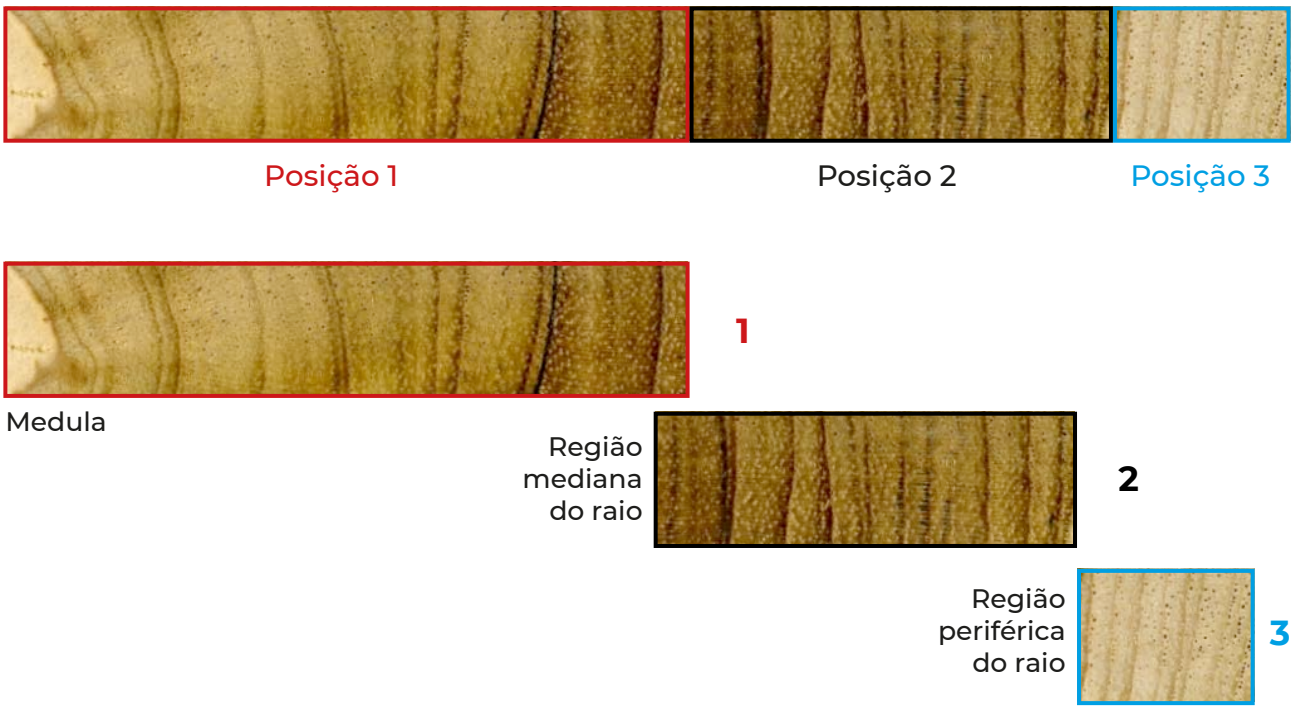
a visualização da porosidade em anel na transição do lenho inicial para o tardio, estrutura anatômica característica em sua formação.



Figura 7. Delimitação dos anéis de crescimento da madeira de teca, com 12 anos de idade, em quatro segmentos (A-região da casca, B-próximo à casca, C-próximo à medula, D-região da medula) de um mesmo raio casca-medula de disco amostrado na base da árvore.

Anéis de crescimento mais largos e com lenho inicial mais espesso que o lenho tardio foram formados na região circunvizinha à medula de árvores de teca, aos 52 anos de idade, plantadas em Piracicaba, SP. Na posição mediana do raio, os anéis são mais próximos entre si e com lenho inicial e tardio de espessura similar, enquanto na região periférica os anéis possuem espessura constante e lenho inicial mais estreito que o tardio (Castro, 2011). Mesmo com diferenças nas procedências, nos ambientes de crescimento, nas dimensões das árvores e nas idades, algumas similaridades na tendência de variação das características dos anéis no raio medula-casca também foram percebidas para teca, aos 20 anos de idade, proveniente de Belo Oriente, MG (Figura 8) (Vidaurre et al., 2014). A exceção ocorreu para a região próxima à casca, onde a largura dos anéis de crescimento é inferior quando comparada àquelas das outras regiões, mas ainda variáveis. As variações nas larguras dos anéis e nas espessuras do

lenho inicial e tardio ocorrem com frequência em árvores que cresceram sujeitas às condições variáveis de competição, de gradientes climáticos, de manejo (desbaste e adubação) e de distúrbios ao longo do crescimento (insetos, doenças, incêndios e outras).



Fotos: João Gabriel Missia da Silva

Figura 8. Seção transversal de disco de madeira na direção medula-casca, evidenciando os anéis de crescimento da teca, aos 20 anos de idade, plantada no município de Belo Oriente, MG.

Árvores de teca oriundas de Nilambur, Índia, aos oito anos de idade, formaram anéis de crescimento com largura média de 5,7 mm (Bhat, 1995). Árvores provenientes de plantações de rápido e lento crescimento de Querala, Índia, formaram anéis de crescimento com larguras médias de 5,5 mm e 1,3 mm, aos 13 anos de idade e 3,8 mm e 1,9 mm, aos 65 anos de idade, respectivamente (Bhat, Indira, 1997).

As larguras médias dos anéis foram semelhantes ao longo das alturas das árvores de teca, com idades entre 50-70 anos, plantadas em Timor Leste. Nas alturas de 1,7 m, 9,5 m e 18,7 m, as larguras dos anéis foram iguais a 3,60 mm, 3,40 mm e 3,70 mm, respectivamente. Entretanto, as larguras dos anéis vão diminuindo com o avançar da idade na fase juvenil, tendendo a se estabilizarem em idades mais avançadas. Nos primeiros dez anos de crescimento das árvores, a largura média dos anéis foi 6,12 mm; caiu para 4,64 mm entre 20-30 anos e permaneceu em 4,02 mm entre 30-45 anos de idade (Miranda et al., 2011).

Um anel de crescimento completo é formado pelo lenho inicial e tardio, que possuem diferenças em estruturas microscópicas da madeira de teca. O lenho tardio da teca apresenta maior frequência vascular, maior comprimento dos elementos de vasos e das fibras e maior densidade, mas possui menor diâmetro tangencial dos vasos, menor abertura das pontuações intervasculares e menor largura das fibras (Ahmed; Chun, 2011; Amodei, 2011).

Elementos anatômicos microscópicos da madeira de teca

A avaliação da anatomia da madeira é fundamental para entender a influência dos genótipos, dos ambientes e das condições de crescimento, de tratos silviculturais, de doenças e de insetos-pragas na sua formação e, consequentemente, nas suas propriedades, mediante a relação funcional existente (Silva; Vidaurre, 2019). Compreender a anatomia da madeira é fundamental para a caracterização e a utilização eficiente do material, para o beneficiamento e a investigação das respostas das práticas de manejo utilizadas.

Oriundos de plantações em sítios úmidos e secos de Gana, com idades de 10, 15 e 20 anos, os lenhos de teca apresentaram, em ordem, 10,77% e 7,50% de proporção de vasos; 62,44% e 51,50% de fibras; 10,66% e 21,67% de parênquima axial e 15,47% e 19,50% de parênquima radial (Amoah; Inyong, 2019). Em resumo, as fibras são os elementos de maior representatividade para a formação do lenho e as árvores que cresceram em condições mais drásticas de umidade possuíram menores proporções de vasos e de fibras e maiores proporções de parênquimas. Bhat e Indira (1997), ao avaliarem árvores de rápido e lento crescimento, com 13 anos de idade, encontraram, na ordem, 71,5% e 52,9% de fibras, 12,4% e 28,0% de vasos e 16,0% e 18,9% de parênquima. Já na idade de 65 anos, foram encontrados 66,5% e 65,3% de fibras, 17,8% e 18,6% de vasos e 15,7% a 15,9% de parênquima. Logo, as diferenças das taxas de crescimento das árvores e seus efeitos na formação anatômica do lenho são maiores nas idades mais jovens.

Médias de 4,2 vasos mm^{-2} e 5,5 vasos mm^{-2} foram encontradas, respectivamente, nos lenhos de teca oriundos de plantações de longa (40 anos) e de curta rotação (dez anos) em Java, Indonésia (Rizanti et al., 2018). Ao considerar as diferenças etárias entre as árvores, ocorre uma pequena variação da quantidade de vasos por área. Em relação à área ocupada pelos vasos lenhosos da teca, observaram-se médias de 0,0122 mm^2 para amostras oriundas de Inhumas, GO (cinco anos), 0,0142 mm^2 para material de Cachoeira Dourada, GO

(12 anos) e 0,0167 mm^2 para árvores adultas (70-80 anos) provenientes de Lautém, Timor Leste (Cardoso et al., 2009; Scarparo, 2015).

Em amostras de teca provenientes de peças já serradas, sem identificação da idade avaliada e de posição do fuste amostrada, Lobão et al. (2011) encontraram valores médios de 1.531 µm, 19,93 µm,12,56 µm e 3,68 µm para comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras, respectivamente. Quanto às dimensões dos vasos, foram observadas médias de 13,27 elementos mm^{-2} e 131,67 µm de diâmetro tangencial. Em cenário semelhante, Silva et al. (2020) observaram médias de 1.183,01 µm, 30,00 µm, 20,25 µm e 4,89 µm para comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras, respectivamente; 172,83 µm de diâmetro tangencial e 3,80 elementos de vasos mm^{-2} e, para os raios, 309,50 µm e 24,52 células mm^{-1} de altura e de 23,10 µm e 3,75 células mm^{-1} de largura.

Para madeiras de teca, oriundas de povoamentos do estado de Mato Grosso, foi identificado que, em relação aos valores de comprimento das fibras, houve aumento de 26% entre 5-10 anos e de 15% entre 10-30 anos de idade (Pinto, 2007). Para diâmetro dos vasos, foi identificado o acréscimo de 13% entre 4-6 anos e 27% entre 6-12 anos de idade (Chagas et al., 2014).

As madeiras de teca, provenientes de povoamentos no Brasil, de diversas idades e locais de crescimento, apresentaram caracteres anatômicos com dimensões nos seguintes intervalos: fibras com comprimento entre 733,00-1.360,53 µm, diâmetro do lume entre 11,28-25,10 µm, largura entre 14,40-32,22 µm e espessura de paredes entre 2,88-7,42 µm (Tabela 4). Os vasos apresentam diâmetros entre 72,43-183,03 µm, frequência de vasos entre 3,98-21,00 mm^{-2} e comprimento de vasos entre 273,79-344 µm. Os raios apresentam largura entre 23,27-77,21 µm e frequências entre 4,32-10 raios mm^{-1}.

Os caracteres anatômicos de madeiras de teca provenientes de povoamentos de outros países apresentaram os seguintes intervalos: fibras com comprimentos entre 811,40-1.420,00 µm, diâmetro do lume entre 11,70-20,00 µm, largura entre 20,11-34,60 µm e paredes com espessura entre 2,00-6,44 µm (Tabela 5). Os vasos apresentaram diâmetros entre 104,30-228,00 µm, frequência entre 4-10 vasos mm^{-2} e comprimento entre 236-284 µm. Os raios apresentam largura entre 51-73 µm e frequências entre 5-9 raios mm^{-1}.

As características anatômicas da madeira de teca diferem entre os povoamentos do Brasil e de outros países. Ao observar a amplitude dos dados das Tabelas 4 e 5, as

madeiras provenientes do Brasil apresentaram, em geral, fibras mais curtas e paredes mais espessas, vasos com menores dimensões e mais frequentes, e raios mais finos e frequentes. Percebe-se também que os dados de povoamentos do Brasil apresentaram maiores amplitudes de valores mínimos e máximos para todas as características em relação às madeiras de teca cultivadas em outros países. No geral, por meio da classificação da IAWA (Wheeler et al., 1989), pode-se descrever que a madeira de teca possui fibras curtas a médias, com paredes finas a grossas; vasos de diâmetro médio a elevado, com pequeno comprimento e baixa a média frequência, e raios de média frequência.

As maiores amplitudes das dimensões dos caracteres anatômicos destacadas nos estudos conduzidos em povoamentos brasileiros podem estar atreladas ao fato das madeiras terem sido avaliadas em idades mais jovens (entre 4-34 anos de idade) e, também, em decorrência do Brasil apresentar expressivas variações meteorológicas tanto entre diferentes períodos do ano quanto entre diferentes locais de plantio (Rocha et al., 2020), visto que as características anatômicas respondem bem às variações do ambiente de crescimento. Por exemplo, a madeira de teca que cresceu em maiores espaçamentos (maior disponibilidade de radiação solar) apresentou fibras com paredes mais espessas e vasos de maiores dimensões (Lima et al., 2011a).

Em todas as madeiras listadas nas Tabelas 4 e 5, as dimensões e as frequências dos vasos condutores foram as características que apresentaram maiores amplitudes de variação, atingindo 60% e 80% para diâmetro tangencial e frequência dos vasos, respectivamente, para os povoamentos no Brasil e 54% e 60%, respectivamente, para povoamentos em outros países. Estas percentagens indicam que, os vasos condutores são os caracteres anatômicos que apresentam maiores alterações frente às diversidades de idades, de ambientes e genótipos de teca. Por outro lado, o comprimento das fibras, em ambos os grupos de origem (Brasil e outros países), foi a característica de menor variação entre os estudos abordados.

Percebe-se pelas lacunas existentes nas Tabelas 4 e 5, que os raios são os elementos anatômicos menos estudados nas avaliações das madeiras de teca, principalmente para trabalhos oriundos de outros países. Isto pode ocorrer por vários motivos, como decisões e escolhas nas montagens dos experimentos, dificuldades nas mensurações ou por não serem tão perceptíveis as respostas aos diversos fatores pesquisados, como para os vasos e as fibras da madeira.

Tabela 4. Comparativo qualitativo das propriedades das madeiras do cerne e do alburno de teca, colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil e em outros países.

Local	Idade (anos)	CF (µm)	DL (µm)	LF (µm)	EP (µm)	DT (µm)	FV (n° mm^{-2})	CVa (µm)	AR (µm)	AR (n° cel.)	LR (µm)	LR (n° cel.)	FR (n° mm^{-1})	Referência
Santo Antônio do Leverger, MT	4	940,00	15,71	24,35	4,32	104,87	5,00	-	510,00	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Inhumas, GO	5	852,46	14,90	22,81	3,96	110,22	-	-	-	-	-	-	-	Scarparo (2015).
Jangada, MT e Cáceres, MT	5	834,00	-	14,67	3,02	-	-	-	-	-	-	-	-	Pinto (2007).
Santo Antônio do Leverger, MT	6	1.120,00	11,28	20,87	4,79	121,08	7,00	-	490,00	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Figueirópolis d'Oeste, MT	6	-	-	-	-	144,86	5,00	-	491,32	-	58,44	-	10,00	Quintilhan et al. (2018).
Urutaí, GO	7	892,70	25,1	16,50	4,30	109,50	6,50	-	-	-	-	-	-	Gil et al. (2018).
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	1.002,16	18,91	27,94	4,51	135,19	17,00	322,42	-	-	-	-	-	Queiroz (2018).
	$9_{(C\ MT00)}$	921,29	16,43	25,25	4,41	72,43	24,00	321,69	-	-	-	-	-	
	$9_{(C\ MT01)}$	994,55	20,13	27,75	3,81	83,95	14,00	339,98	-	-	-	-	-	
	$9_{(C\ MT02)}$	1.010,38	18,61	26,85	4,12	113,66	10,00	321,27	-	-	-	-	-	
	$9_{(C\ MT08)}$	943,61	17,74	25,91	4,09	107,18	21,00	315,97	-	-	-	-	-	
	$9_{(C\ MT80)}$	1.121,98	14,63	24,51	4,94	116,63	17,00	305,48	-	-	-	-	-	
Angatuba, SP	$9,4_{(Cer.)}$	977,83	17,22	25,01	3,90	169,04	4,66	279,09	-	-	-	-	-	Benedetti (2018).
	$9,4_{(Alb.)}$	1.081,26	17,74	26,08	4,17	170,15	4,89	286,08	-	-	-	-	-	
Glória d'Oeste, MT	$9,5_{(Cer.)}$	1.083,47	17,03	25,52	4,25	155,86	4,85	296,69	-	-	-	-	-	Benedetti (2018).
	$9,5_{(Alb.)}$	1.173,09	19,01	28,01	4,46	165,10	4,07	273,79	-	-	-	-	-	
Jangada, MT e Cáceres, MT	10	1.137,00	-	14,75	3,02	-	-	-	-	-	-	-	-	Pinto (2007).
Cáceres, MT	$11_{(Med.)}$	793,00	-	-	3,60	-	-	-	-	-	-	-	-	Amodei (2011).
	$11_{(Cam.)}$	1.285,00	-	-	5,50	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cáceres, MT	12	995,72	-	-	4,66	-	-	-	-	-	-	-	-	Souza (2010).
Cachoeira Dourada, GO	12	882,95	17,81	26,35	4,27	121,56	-	-	-	-	-	-	-	Scarparo (2015).
Santo Antônio do Leverger, MT	12	930,00	13,96	22,99	4,51	168,08	5,00	-	510,00	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Vazante, MG	13	1.090,00	-	25,76	4,76	-	-	287,48	-	-	-	-	-	Flórez (2012).
Alta Floresta, MT	14	1.110,00	17,38	32,22	7,42	173,16	-	300,00	950,00	-	77,21	-	5,84	Souza et al. (2019).
Nossa Senhora do Livramento, MT	14	950,00	14.96	28,04	6,54	180,33	-	290,00	630,00	-	61,16	-	5,12	Souza et al. (2019).

Continua . . .

Tabela 4. Continuação.

Local	Idade (anos)	CF (µm)	DL (µm)	LF (µm)	EP (µm)	DT (µm)	FV (n° mm^{-2})	CVa (µm)	AR (µm)	AR (n° cel.)	LR (µm)	LR (n° cel.)	FR (n° mm^{-1})	Referência
Porto Espiridião, MT	14,4$_{(Cer.)}$	1.123,24	17,70	26,60	4,45	155,24	5,23	278,95	-	-	-	-	-	Benedetti (2018).
	14,4$_{(Alb.)}$	1.293,17	18,65	27,49	4,42	164,78	5,87	295,53	-	-	-	-	-	
Belo Oriente, MG	15	1.147,00	20,04	29,75	4,86	161,26	3,98	-	253,37	21,16	23,27	3,04	4,90	Motta (2011).
Cáceres, MT	16	1.090,00	16.13	26,16	5,01	180,72	-	280,00	620,00	-	66,75	-	4,88	Souza et al. (2019).
Rosário d'Oeste, MT	18,7$_{(Cer.)}$	1.270,04	19,10	27,78	4,34	163,63	4,90	302,82	-	-	-	-	-	Benedetti (2018).
	18,7$_{(Alb.)}$	1.360,53	19,08	27,90	4,41	183,03	4,90	295,79	-	-	-	-	-	
Jangada, MT e Cáceres, MT	30	1.341,00	-	14,42	2,88	-	-	-	-	-	-	-	-	Pinto (2007).
Pederneiras, SP	31	1.007,00	-	-	5,08	161,28	8,28	344,00	359,16	-	52,71	-	4,32	Lima et al. (2011a).
Indiavaí, MT	34	-	-	-	-	156,90	4,00	-	446,67	-	62,49	-	7,00	Quintilhan et al. (2018).

CF: comprimento, DL: diâmetro do lume; LF: largura e EP: espessura da parede das fibras; DT: diâmetro tangencial, FV: frequência vascular, CVa: comprimento dos elementos de vasos; AR: altura, LR: largura e FR: frequência dos raios. S: origem seminal; C: origem clonal; Cer.: cerne; Alb.: alburno; Med.: medula; Cam.: câmbio.

Tabela 5. Valores médios das dimensões das fibras, dos vasos e dos raios das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento em outros países.

Local	Idade (anos)	CF (µm)	DL (µm)	LF (µm)	EP (µm)	DT (µm)	FV (n° mm^{-2})	CVa (µm)	AR (µm)	AR (n° cel.)	LR (µm)	LR (n° cel.)	FR (n° mm^{-1})	Referência
Campeche, México	9$_{(Cer.int.)}$	811,40	-	27,00	2,00	121,10	8,00	-	702,90	-	71,30	-	-	Rodríguez-Anda et al. (2018).
	9$_{(Cer. ext.)}$	941,30	-	26,70	2,80	127,80	6,00	-	685,80	-	73,10	-	-	
Sawla-Tuna-Kalba, Gana	10, 15, 20	838,30	11,70	20,11	4,14	117,16	-	-	-	-	-	-	-	Amoah e Inyong (2019).
Twifo Heman Lower Denkyira, Gana	10, 15, 20	1.076,60	17,37	25,03	3,83	151,09	-	-	-	-	-	-	-	Amoah e Inyong (2019).
Cepu e Ciamis, Indonésia	12	1.420,00	-	23,40	2,78	188,00	-	284,00	-	-	-	-	-	Hidayati et al. (2014).
Costa Rica	13	1.040,00	17,00	26,00	5,00	150,00	4,00	236,00	-	-	58,00	3,00	5,00	Roque et al. (2010).
Nilambur, Querala, Índia	13$_{(RC)}$	1.179,00	-	-	4,90	141,10	-	-	-	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
	13$_{(LC)}$	1.102,00	-	-	3,30	147,10	-	-	-	-	-	-	-	
Sabá, Malásia	15$_{(LI)}$	1.215,00	-	34,60	5,80	228,00	6,00	-	659,00	-	-	-	9,00	Josue e Imiyabir (2011).
	15$_{(LT)}$					112,00	8,00	-		-	-	-		
Campeche, México	15$_{(Cer. int.)}$	924,10	-	25,30	3,10	117,30	7,00	-	561,20	-	69,90	-	-	Rodríguez-Anda et al. (2018).
	15$_{(Cer. ext.)}$	1.133,50	-	27,00	3,60	127,30	7,00	-	600,20		64,20			

Continua . . .

Tabela 5. Continuação.

Local	Idade (anos)	CF (µm)	DL (µm)	LF (µm)	EP (µm)	DT (µm)	FV (nº mm^{-2})	CVa (µm)	AR (µm)	AR (nº cel.)	LR (µm)	LR (nº cel.)	FR (nº mm^{-1})	Referência
Tabasco, México	15$_{(Cer. int.)}$	910,40	-	27,60	3,60	109,20	8,00	-	539,80	-	64,20	-	-	Rodríguez-Anda et al. (2018).
	15$_{(Cer. ext.)}$	1.053,10	-	30,40	4,30	120,50	7,00		566,60		76,00			
Edo, Nigéria	15	1.450,00	18,17	26,60	5,86	-	-	-	-	-	-	-	-	Izekor e Fuwape (2011).
Edo, Nigéria	20	1.730,00	15,60	29,50	7,89	-	-	-	-	-	-	-	-	Izekor e Fuwape (2011).
Chiapas, México	21$_{(Cer. int.)}$	1.036,20	-	27,60	3,20	104,30	7,00	-	551,90	-	64,30	-	-	Rodríguez-Anda et al. (2018).
	21$_{(Cer. ext.)}$	1.168,20	-	30,40	3,70	122,20	7,00		570,80		67,60			
Edo, Nigéria	25	1.960,00	14,06	32,80	9,80	-	-	-	-	-	-	-	-	Izekor e Fuwape (2011).
Chancha-mayo, Peru	32	1.355,00	20,00	26,00	3,00	142,00	7,00	251,00	684,00	28,00	58,00	3,00	5,00	Segura et al. (2020).
Sylhet, Bangladesh	32-38	-	-	-	-	-	-	-	547,00	-	51,00	-	-	Rahman et al. (2005).
Ernakulam, Querala, Índia	35$_{(AU)}$	1.160,00	19,35	31,06	5,88	217,10	6,00	-	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Palghat, Querala, Índia	35$_{(AS)}$	1.240,00	17,40	28,98	5,77	198,70	5,70	-	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Nilambur, Querala, Índia	35$_{(PF)}$	1.240,00	19,23	30,18	5,48	204,60	6,30	-	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Rangamati, Bangladesh	37-45	-	-	-	-	-	-	-	504,00	-	59,00	-	-	Rahman et al. (2005).
Nilambur, Querala, Índia	63$_{(RC)}$	1.405,00	-	-	-	177,00	-	-	-	-	-	-	-	Bhat et al. (2001).
	63$_{(LC)}$	1.288,00	-	-	-	162,00	-	-	-	-	-	-	-	
Konni, Querala, Índia	63$_{(RC)}$	1.377,00	-	-	-	186,00	-	-	-	-	-	-	-	Bhat et al. (2001).
	63$_{(LC)}$	1.168,00	-	-	-	174,00	-	-	-	-	-	-	-	
Arienkavu, Querala, Índia	63$_{(RC)}$	-	-	-	-	184,00	-	-	-	-	-	-	-	Bhat et al. (2001).
	63$_{(LC)}$	-	-	-	-	177,00	-	-	-	-	-	-	-	
Nilambur e Konni, Querala, Índia	65$_{(RC)}$	1.341,00	-	-	5,60	165,90	-	-	-	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
	65$_{(LC)}$	1.290,00	-	-	5,10	166,50	-	-	-	-	-	-	-	
Lautém, Timor Leste	70-80	1.120,00*	-	28,00*	6,10*	-	8,66*	-	-	-	-	-	-	Cardoso et al. (2009).

CF: comprimento, DL: diâmetro do lume; LF: largura e EP: espessura da parede das fibras; DT: diâmetro tangencial, FV: frequência vascular, CVa: comprimento dos elementos de vasos; AR: altura, LR: largura e FR: frequência dos raios. Cer. int.: cerne interno; Cer. ext.: cerne externo; RC: rápido crescimento; LC: lento crescimento; LI: lenho inicial; LT: lenho tardio; AU: arboreto úmido; AS: arboreto seco; PF: plantação florestal. * média de três árvores calculada pelos autores.

Árvores de teca, com sete anos de idade, plantadas no estado de Goiás, apresentaram variações nas dimensões das fibras e nas dimensões e frequências dos vasos ao longo das alturas das árvores (sentido base-topo ou longitudinal). Os valores de comprimento, de espessura da parede, de largura e de diâmetro do lume das fibras apresentaram decréscimos ao longo das alturas. No entanto, as características dos elementos de vasos (diâmetro, frequência e área ocupada) foram crescentes no sentido base-topo (Gil et al., 2018). Essa mesma tendência foi observada em árvores da espécie, com 31 anos de idade, oriundas de Timor-Leste (Cardoso et al., 2009).

Os comprimentos e as espessuras das paredes das fibras apresentam aumentos significativos no sentido medula-casca. As frequências dos vasos e dos raios são maiores e os diâmetros dos vasos menores na região da medula, para as madeiras de árvores de teca, com 31 anos de idade, plantadas no Brasil, evidenciando a variação no sentido medula-casca da madeira (Lima et al., 2011a). A variabilidade presente no interior da árvore, seja em altura ou em diâmetro, é um fator que causa efeito sobre a qualidade da madeira de teca, sendo necessário considerá-la nas pesquisas/experimentações e no ajuste e controle do beneficiamento e da utilização. Peças serradas de toras da base e do topo possuem comportamentos diferentes durante o desdobro e secagem, por exemplo. Os efeitos das variabilidades nos sentidos base-topo e medula-casca nas propriedades da madeira podem ser especificamente relacionados aos genótipos, às idades, aos locais de crescimento e, também, aos esquemas de amostragens adotados para avaliações em laboratórios.

Composição química da madeira de teca

A madeira é formada pelo arranjo na parede celular dos seguintes componentes: celulose, lignina e hemicelulose, em diferentes proporções. Adicionalmente, há também os extrativos, presentes em pequena fração na constituição da madeira, mas com grandes efeitos em suas propriedades, em seu processamento e em sua utilização (Silva; Vidaurre, 2019).

A presença de uma gama de extrativos ativos incrustados na parede celular é uma característica intrínseca da teca. Os teores de extrativos totais nos cernes dessas árvores variam entre 10,0-19,8%. Alguns tipos de extrativos da madeira de teca possuem caráter biocida aos cupins e aos fungos xilófagos e outros extrativos têm propriedades hidrofóbicas (repelentes de água), devido ao alto teor de lipídios específicos (Thulasidas; Baillères, 2017), o que contribui para a alta durabilidade natural e estabilidade dimensional dessa madeira.

Ressalta-se que a alta variabilidade para teor de extrativos, observada em genótipos de teca, em idades mais jovens, pode ser controlada por meio de estratégias criteriosas de seleção genética (Thulasidas; Baillères, 2017). Logo, o teor de extrativos é uma importante variável a ser incorporada em programas de melhoramento genético de teca, tendo em vista a sua influência direta sobre a cor, a durabilidade natural, a estabilidade dimensional da madeira e, consequentemente, na qualidade dos produtos.

Em madeiras de teca sem a identificação da idade e local da plantação, foram observadas médias de 9,74%, 31,59% e 58,68% para extrativos, lignina total e holocelulose, respectivamente (Lobão et al., 2011). Nessas mesmas condições, Moreira (1999) observou 5% e 22,70% para extrativos em álcool-tolueno e lignina total, respectivamente.

As composições químicas da madeira de teca, em várias idades e locais de crescimento, são listadas nas Tabelas 6 e 7. As madeiras de teca cultivadas no Brasil apresentam as seguintes amplitudes de valores para composição química: teores de extrativos totais entre 1,20-11,54%, lignina total entre 30,86-36,13%, holocelulose entre 55,00-68,62% e cinzas entre 0,52-0,84%. Já as madeiras de teca oriundas de outros países apresentam teores de extrativos totais entre 2,67-15,98%, lignina total entre 19,80-37,30%, holocelulose entre 58,27-72,05%, hemicelulose entre 18,70-29,67%, celulose de 41,10-49,28% e cinzas entre 0,52-7,50%. As composições químicas das madeiras de folhosas, geralmente, apresentam amplitudes de 3 ± 2% de extrativos, 20 ± 4% de lignina total, 30 ± 5% de hemiceluloses e 45 ± 2% de celulose (Sjöström, 1993). Ao considerar essa base de composição química, observa-se que as madeiras de teca possuem altos valores de extrativos e de lignina total.

Tabela 6. Composição química não estrutural e estrutural das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil.

Local	Idade (Anos)	ET (%)	LT (%)	Hem (%)	Cel (%)	Cz (%)	Referência
				Holocelulose (%)			
Santo Antônio do Leverger, MT	4	4,39	31,65	63,96		-	Chagas (2013).
São José dos Quatro Marcos, MT	4,7	-	-	-		0,61	Silva et al. (2015).
Jangada, MT e Cáceres, MT	5	-	32,95	-		-	Pinto (2007).
Santo Antônio do Leverger, MT	6	3,59	31,99	64,42			Chagas (2013).

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Local	Idade (Anos)	ET (%)	LT (%)	Hem (%) / Holocelulose (%)	Cel (%)	Cz (%)	Referência
Tangará da Serra, MT	$6_{(Cer.)}$	7,18	32,87	59,95		-	Oliveira et al. (2019).
	$6_{(Alb.)}$	4,89	32,42	62,69		-	
São José dos Quatro Marcos, MT	7,7	-	-	-		0,57	Silva et al. (2015).
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	4,24	33,31	65,96		0,74	Queiroz (2018).
	$9_{(C00)}$	4,44	31,03	68,62		0,63	
	$9_{(C01)}$	3,90	31,15	68,37		0,59	
	$9_{(C02)}$	6,17	31,51	68,03		0,52	
	$9_{(C08)}$	4,47	31,26	68,00		0,70	
	$9_{(C80)}$	4,20	32,93	66,50		0,55	
Angatuba, SP	9,4	7,69	-	-		-	Benedetti (2018).
Glória d'Oeste, MT	9,5	8,76	-	-		-	Benedetti (2018).
Jangada, MT e Cáceres, MT	10	-	30,86	-		-	Pinto (2007).
Nova Maringá, MT	10	4,97	-	-		-	Canal (2017).
Santo Antônio do Leverger, MT	12	4,76	31,23	64,01		-	Chagas (2013).
Cáceres, MT (5 m x 2 m)	$12_{(Alb.)}$	1,20	-	-		-	Garcia e Marinonio (2016).
	$12_{(Cer.)}$	3,35	-	-	-		
Cáceres, MT (6m x 2 m)	$12_{(Alb.)}$	1,55	-	-	-		Garcia e Marinonio (2016).
	$12_{(Cer.)}$	4,35	-	-	-		
Nova Maringá, MT	12	7,14	-	-		-	Canal (2017).
Vazante, MG	13	8,94	32,47	57,94		0,64	Flórez (2012).
Nossa Senhora do Livramento, MT	13	8,90	36,13	55,22		-	Pinto et al. (2017).
Nova Maringá, MT	14	7,38	-	-		-	Canal (2017).
Alta Floresta, MT	14	8,25	32,29	67,25		0,43	Souza (2019).
Nossa Senhora do Livramento, MT	14	6,97	32,69	66,57		0,72	Souza (2019).
Porto Espiridião, MT	14,4	11,17	-	-		-	Benedetti (2018).
Brasnorte, MT	15	6,69	30,17	22,02	41,22	-	Menezes (2017).
Cáceres, MT	15-18	8,06	31,31	12,42	-	-	Brito (2017).
Nova Maringá, MT	16	7,40	-	-		-	Canal (2017).

Continua . . .

Tabela 6. Continuação.

Local	Idade (Anos)	ET (%)	LT (%)	Hem (%)	Cel (%)	Cz (%)	Referência
				Holocelulose (%)			
Cáceres, MT	16	9,94	30,96	69,03		0,84	Souza (2019).
Rosário d'Oeste, MT	18,7	11,54	-	-		-	Benedetti (2018).
Cuiabá, MT	$20_{(Alb.)}$	6,83	36,04	57,13		-	Brochini (2019).
	$20_{(Cer.)}$	9,35	35,65	55,00		-	
Mato Grosso	25	11,03	-	61,22		-	Lengowski et al. (2021).
Jangada, MT e Cáceres, MT	30	-	33,75	-		-	Pinto (2007).
Cáceres, MT	33	8,92	-	-		-	Brocco (2019).

ET: extrativos totais; LT: lignina total; Hem: hemicelulose; Cel: celulose; Cz: cinzas. Cer.: cerne; Alb.: alburno; S: origem seminal; C: origem clonal.

Tabela 7. Composição química não estrutural e estrutural das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento em outros países.

Local	Idade (Anos)	ET (%)	LT (%)	Hem (%)	Cel (%)	Cz (%)	Referência
				Holocelulose (%)			
Ibadan, Nigéria	4	9,50	19,80	-	-	7,50	Chow e Lucas (1988).
Campeche, México	9	7,25	-	-	-	-	Anda et al. (2019).
Java, Indonésia	10	3,70	35,53	18,70	48,80	-	Rizanti et al. (2018).
Java, Indonésia	$10_{(Alb.)}$	5,04	32,64	26,26	41,10	-	Pratiwi et al. (2019).
Costa Rica	13	13,67	30,91	59,65		0,78	Roque et al. (2010).
Campeche, México	15	7,28	-	-		-	Anda et al. (2019).
Tabasco, México	15	10,67	-	-		-	Anda et al. (2019).
Província de Yunnan, China	$18_{(Alb.)}$	4,67	27,73	62,23		-	Qiu et al. (2019).
	$18_{(Cer.)}$	14,54	26,76	58,27		-	
Chiapas, México	21	7,33	-	-	-	-	Anda et al. (2019).
Java Central, Indonésia	$32_{(Alb.)}$	5,84	-	-	-	0,84	Lukmandaru et al. (2009).
	$32_{(Me\ CT)}$	12,2	-	-	-	0,88	
	$32_{(Cer.)}$	7,50	-	-	-	0,52	

Continua . . .

Tabela 7. Continuação.

Local	Idade (Anos)	ET (%)	LT (%)	Hem (%) / Holocelulose (%)	Cel (%)	Cz (%)	Referência
Nilambur/ Querala, Índia	$35_{(SU)}$	12,44	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2007).
	$35_{(SS)}$	15,98	-	-	-	-	
	$35_{(FP)}$	13,31	-	-	-	-	
Java, Indonésia	40	8,00	32,19	19,35	49,18	-	Rizanti et al. (2018).
Java, Indonésia	$40_{(Cer.)}$	9,79	32,51	27,60	39,89	-	Pratiwi et al. (2019).
Timor Leste	$70_{(Alb.)}$	-	35,40	-	-	-	Lourenço et al. (2015).
	$70_{(Cer.)}$	-	37,30	-	-	-	
Maharashtra, Índia	NI	12,01	26,99	72,05		-	Meena e Nimkar (2016).
Java Central, Indonésia	$NI_{(Alb.)}$	2,67	30,33	29,67	49,28	1,50	Lukmandaru (2015).
	$NI_{(Cer.\ ext.)}$	4,50	30,71	22,96	46,74	0,78	
	$NI_{(Cer.\ med.)}$	5,75	31,02	27,04	44,84	1,24	
	$NI_{(Cer.\ int.)}$	3,68	30,85	25,23	47,01	0,72	

ET: extrativos totais; LT: lignina total; Hem: hemicelulose; Cel: celulose; Cz: cinzas. Alb.: alburno; Cer.: cerne; Me CT: mancha escura no cerne de transição; SU: sítio úmido (arboreto); SS: sítio seco (arboreto); FP: floresta plantada comercial; NI: não identificado; Cer. ext: cerne externo; Cer. med: cerne mediano; Cer. Int.: cerne interno.

Os teores de extrativos totais e de cinzas foram os componentes que apresentaram as maiores variações entre os materiais listados nas referidas tabelas, atingindo 92% e 65%, respectivamente. Os teores de celulose nas madeiras de teca de diferentes idades e origens apresentaram baixa variação (9%), o que indicou que esse componente químico foi o mais constante entre povoamentos de diferentes genótipos, idades e ambientes.

A variabilidade da composição química da madeira de teca, no sentido medula-casca, foi observada, nas posições: cerne interno, cerne mediano, cerne externo e alburno. Observou-se acréscimos nos teores de extrativos e de ligninas totais do cerne interno até o cerne mediano e decréscimo em direção ao alburno. Inversamente, o teor de holocelulose diminuiu até o cerne externo e aumentou no alburno. O teor de celulose diminuiu do cerne interno ao mediano e, em seguida, aumentou em direção ao alburno. Os teores de hemicelulose e de cinzas foram os mais variáveis entre as posições no sentido medula-casca (Lukmandaru, 2015).

As madeiras de cerne da teca apresentam, em média, 64% a mais de extrativos totais que as madeiras de alburno de árvores plantadas em Cáceres, MT, aos 12 anos de idade, e independente do espaçamento de plantio (5 m x 2 m e 6 m x 2 m) (Garcia; Marinomio, 2016). Foi observada superioridade de 66% de extrativos totais para cerne de madeiras de teca provenientes da China, aos 18 anos de idade (Qiu et al., 2019). No entanto, as porcentagens de lignina total e de holocelulose foram 3,5% e 6,4% inferiores aos das madeiras de alburnos (Qiu et al., 2019). Um acréscimo de 26% no teor de extrativos totais e decréscimos de 1,09% de lignina total e 3,70% de holocelulose foram observados nas madeiras de cerne de árvores de teca plantadas em Cuiabá, MT, aos 20 anos de idade (Brochini, 2019).

Em plantação homogênea crescendo em Timor Leste, aos 70 anos de idade, as madeiras colhidas apresentaram, para alburno e cerne, teores médios de lignina siringila (S) de 14,4% e 16,4%, respectivamente; lignina guaiacila (G) de 20,4% e 20,3% e lignina p-hidroxifenila (H) de 0,6% e 0,7%, respectivamente. As relações S/G foram de 0,7 e 0,8 para alburno e cerne, respectivamente, com carboidratos totais de 31,6% para ambos os tecidos (Lourenço et al., 2015). As madeiras avaliadas nas idades de 4, 6 e 12 anos, oriundas de Santo Antônio do Leverger, MT, apresentaram médias de relação S/G iguais a 0,76; 0,85 e 0,72, respectivamente (Chagas, 2013).

Os carboidratos totais da madeira de teca, em idades avançadas (50-70 anos) e oriunda de Timor Leste, foram em média 56,85%. Já em relação aos açúcares que fazem parte da composição dessa madeira, foram observadas médias de: 44,15% de glucose, 8,05% de xilose, 3,15% de manose, 0,60% de arabinose, 0,55% de galactose e 0,35% de ramnose, sem muitas alterações entre o cerne e alburno (Miranda et al., 2011).

Cor da madeira de teca

A cor da madeira de teca, mais evidente nas regiões do cerne das toras ou peças serradas, é uma característica qualitativa importante para a precificação e a comercialização dos produtos e pode ser controlada pela seleção genética adequada (Thulasidas; Baillères, 2017). A cor também é critério para definir a adequação da madeira a determinados usos, como móveis, pisos, painéis e elementos da arquitetura. Sem dúvida, é a característica organoléptica que impressiona a visão dos consumidores e aumenta a atratividade estética da madeira, sendo a coloração natural intrínseca à espécie, o que confere um requinte aos produtos resultantes.

A madeira de teca é marcante pela alteração da cor entre o cerne e alburno e, por isso, alguns nichos de mercado vão priorizar a padronização e os tons naturais do cerne e outros vão querer a diversidade de tonalidades, comumente observada entre essas regiões macroscópicas do lenho, principalmente em madeiras de idades mais jovens e de desbaste. Logo, na madeira de desbaste de teca é característica a restrição de uniformização da cor nas toras e nas peças serradas.

Com base nas figuras da superfície da madeira, quatro classes qualitativas da teca foram descritas, variando de grã ondulada, grosseira e marrom escura à grã reta, fina e amarela. A madeira de teca de florestas naturais da antiga Birmânia (atual Mianmar) possui coloração natural marrom-dourada uniforme e sem manchas. Contudo, as madeiras de outras origens possuem tonalidade marrom forte com faixas marrom-chocolate mais escuras. A madeira de teca indiana possui grã reta ou ondulada, manchas, oleosa ao toque e marcada com depósitos de sílica brancos e brilhantes (Thulasidas; Baillères, 2017).

Árvores de teca plantadas no estado de Sabá, na Malásia, aos 15 anos de idade, possuem cerne marrom-amarelado, frequentemente com uma coloração esverdeada quando recém-cortado, passando gradualmente de marrom para o marrom escuro com a sua exposição. O cerne é muito distinto do alburno, sendo de cor branco amarelado (Josue, Imiyabir, 2011). As madeiras de alburno de teca, aos nove anos de idade, de origens seminais e clonais apresentaram cor cinza-rosada, enquanto as cores dos cernes variaram conforme os materiais genéticos, sendo observados tons marrom-claro para árvores seminais e rosa-acinzentado a marrom-oliva para materiais clonais (Queiroz, 2018).

É fundamental ter um método para avaliar a cor da madeira e dos seus produtos, por ser uma característica subjetiva e diversa de acordo com o observador, iluminação e estado da superfície. Por isso, a colorimetria quantitativa incorporada ao sistema CIELab, com o uso de espectrofotômetros portáteis, é o método colorimétrico mais utilizado para fornecer mensurações precisas e efetivas. O sistema CIELab é composto pelos parâmetros colorimétricos luminosidade ou claridade (L*) no eixo preto e branco e, também, matizes do eixo verde-vermelho (a*) e do azul-amarelo (b*). Com os dados dos matizes (a* e b*) em equações próprias, calcula-se a saturação (C) e o ângulo de tinta (h*) (Barros et al., 2014; Garcia et al., 2014).

Os valores dos parâmetros colorimétricos das madeiras de árvores de teca plantadas no Brasil e em outros países são listados na Tabela 8. A cor do cerne da teca brasileira varia entre: oliva, oliva amarelada, marrom oliva e marrom clara, enquanto o alburno possui

coloração branca a branca acinzentada, sem muita variação. A teca plantada na Indonésia possui alburno de cor oliva clara e cerne oliva a oliva amarelada. No geral, as cores da madeira são alteradas com o material genético, com a idade e com o local de crescimento.

Tabela 8. Cores da madeira de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil e em outros países.

Local	Idade (Anos)	L*	a*	b*	C	h*	Cor[1]	Referência
Brasil								
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	61,48	7,59	20,55	22,03	69,85	Oliva amarelada	Queiroz (2018).
	$9_{(C\ MT00)}$	60,34	7,82	20,95	22,48	69,40		
	$9_{(C\ MT01)}$	64,04	6,87	20,21	21,46	71,57		
	$9_{(C\ MT02)}$	63,17	7,19	20,44	21,78	70,79		
	$9_{(C\ MT08)}$	63,64	6,84	21,05	22,48	72,69		
	$9_{(C\ MT80)}$	62,94	7,61	21,91	23,26	70,76		
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	75,04	3,97	22,79	-	-		Brocco (2014).
	$10_{(Cer.)}$	59,07	10,97	25,47	-	-		
Mato Grosso	10	56,97	10,27	25,76	27,75	68,26	Marron oliva	Mesquita et al. (2017).
São José do Rio Claro, MT	$10_{(Alb.)}$	77,41	4,55	21,14	21,64	77,86	Branca e branca acinzentada	Cremonez et al. (2019).
	$10_{(Cer.)}$	62,35	8,99	25,59	27,14	70,60	Oliva amarelada	
Sooretama, ES	12	54,34	8,61	20,62	22,39	67,12	Oliva	NUQMAD-UFES[1].
Cáceres, MT (5 m x 2 m)	$12\ R_{(Cer.)}$	59,47	9,25	21,51	-	-	-	Garcia e Marinomio (2016).
	$12\ R_{(Alb.)}$	77,60	3,36	18,43	-	-	-	
	$12\ T_{(Cer.)}$	65,78	8,65	-	-	-	-	
	27,03	-	-	-	-	-	-	
	$12\ T_{(Alb.)}$	71,50	5,17	-	-	-	-	
Cáceres, MT (6 m x 2 m)	$12\ R_{(Cer.)}$	59,17	10,42	26,78	-	-	-	Garcia e Marinomio (2016).
	$12\ R_{(Alb.)}$	72,19	4,26	19,10	-	-	-	
	$12\ T_{(Cer.)}$	61,27	9,52	25,94	-	-	-	
	$12\ T_{(Alb.)}$	69,52	5,34	20,74	-	-	-	

Continua . . .

Tabela 8. Continuação.

Local	Idade (Anos)	L*	a*	b*	C	h*	Cor[1]	Referência
Brasil								
São José do Rio Claro, MT	$13_{(Alb.)}$	74,39	5,03	21,91	22,49	77,15	Branca e branca acinzentada	Cremonez et al. (2019).
	$13_{(Cer.)}$	58,20	9,74	23,09	25,08	67,19	Marron oliva	
Alta Floresta, MT	14	57,02	10,83	26,30	28,47	67,68	Marrom oliva	Souza (2019).
Nossa Senhora do Livramento, MT	14	61,27	9,84	27,67	29,40	70,44	Marrom oliva	Souza (2019).
Brasnorte, MT	15	57,85	8,36	24,41	25,95	70,63	Oliva amarelada	Menezes (2017).
Cáceres, MT	16	56,20	10,68	27,42	29,46	69,14	Marrom oliva	Souza (2019).
São José do Rio Claro, MT	$17_{(Alb.)}$	73,48	5,64	23,52	24,20	76,54	Branca e branca acinzentada	Cremonez et al. (2019).
	$17_{(Cer.)}$	52,94	10,65	23,51	25,83	65,63	Marron oliva e marron clara	
Belo Oriente, MG	20	53,75	10,78	22,47	-	-	-	Brocco (2014).
Mato Grosso	25	59,77	9,59	24,33	26,17	68,38	Marron oliva	Lengowski et al. (2021).
Outros países								
Indonésia	$5_{(Alb.)}$	71,10	6,00	21,40	-	-	-	Lukmandaru e Sayudha (2019).
	$5_{(Cer.)}$	58,90	9,70	23,30	-	-	-	
Ilhas Salomão	6	66,00	8,00	28,00	-	-	-	Hopewell et al. (2011).
Austrália	6,5	56,00	9,00	24,00	-	-	-	Hopewell et al. (2011).
Indonésia	$7_{(Alb.)}$	68,30	8,10	27,00	-	-	-	Lukmandaru e Sayudha (2019).
	$7_{(Cer.)}$	59,70	10,50	28,30	-	-	-	

Continua . . .

Tabela 8. Continuação.

Local	Idade (Anos)	L*	a*	b*	C	h*	Cor[1]	Referência
Outros países								
Costa Rica	7-15$_{(Cer.)}$	58,15	10,40	25,91	-	-	-	Moya e Berrocal (2010).
	7-15$_{(Alb.)}$	73,8	5,80	25,22	-	-	-	
Ilhas Salomão	10	62,00	10,00	28,00	-	-	-	Hopewell et al. (2011).
Costa Rica	10	66,31	8,27	27,34	-	-	-	Moya e Marín (2011).
Costa Rica	10	62,70	9,50	28,60	-	-	-	Moya et al. (2013).
Guanacaste, Costa Rica	15	48,00 59,00	7,00 9,50	48,00 58,00	-	-	-	Arce e Moya (2015).
Ilhas Salomão	15	59,00	10,00	28,00	-	-	-	Hopewell et al. (2011).
Gana	25-35$_{(FSS)}$	57,61	11,32	23,30	-	-	-	Derkyi et al. (2009).
Gana	26$_{(FSU)}$	52,36	12,04	24,88	-	-	-	Derkyi et al. (2009).
Gana	32-50$_{(FS)}$	59,12	10,29	25,16	-	-	-	Derkyi et al. (2009).
Java Central, Indonésia	32$_{(Alb.)}$	70,06	3,81	26,39	26,66	81,78	-	Lukmandaru et al. (2009).
	32$_{(Me\ CT)}$	42,66	7,45	20,30	21,62	69,85	-	
	32$_{(Cer.)}$	54,22	6,28	23,52	24,34	75,05	Oliva amarelada	
Gana	33$_{(FST)}$	55,38	10,23	21,40	-	-	-	Derkyi et al. (2009).
Ernakulam, Querala, Índia	35$_{(AU)}$	52,34	6,35	21,13	-	-	-	Thulasidas et al. (2006).
Palghat, Querala, Índia	35$_{(AS)}$	54,04	6,37	23,40	-	-	-	
Nilambur/ Querala, Índia	35$_{(PF)}$	56,40	6,85	23,44	-	-	-	Thulasidas et al. (2006).
Indonésia	65$_{(Alb.)}$	68,70	9,80	30,80	-	-	-	Lukmandaru e Sayudha (2019).
	65$_{(Cer.\ ext.)}$	59,20	10,70	31,80	-	-	-	
	65$_{(Cer.\ int.)}$	49,30	12,50	31,40	-	-	-	

Continua . . .

Tabela 8. Continuação.

Local	Idade (Anos)	L*	a*	b*	C	h*	Cor[1]	Referência
Outros países								
Birmânia (Atual Mianmar)	NI	50,00	11,00	24,00	-	-	-	Hopewell et al. (2011).

L*: claridade ou luminosidade; a*: matiz vermelho; b*: matiz amarelo; C: saturação; h*: ângulo de tinta. [1]Classificação da cor realizada pelos autores, utilizando a tabela de cores de madeira de Camargos e Gonçalez (2001). S: origem seminal; C: origem clonal; Alb.: alburno; Cer.: cerne; R: radial; T: tangencial. # classificação da cor não realizada em função da ausência dos parâmetros C e h*. Me CT: mancha escura no cerne de transição; AU: arboreto úmido; AS: arboreto seco; PF: plantação florestal. NI: não informado. [1]Dados não publicados. FSS: floresta semidecidual seca; FSU: floresta semidecidual úmida; FS: floresta de savana; FST: floresta de savana de transição.

As cores das madeiras de teca oriundas de plantações no Brasil, avaliadas nas idades entre 9-25 anos, possuem faixas de variação de luminosidade (L*) de 52,94 a 77,60, matiz vermelho (a*) de 3,36 a 18,43, matiz amarelo (b*) de 21,46 a 65,63, saturação (C) de 10,97 a 27,67 e ângulo de tinta de 29,46 a 77,86. Já as madeiras provenientes de outros países, com idades entre 5-65 anos, apresentaram L* de 42,66 a 73,80; a* de 3,81 a 12,50 e b* de 20,30 a 31,80. As madeiras de teca brasileiras possuem maiores variações nas tonalidades amarelas, enquanto em madeiras oriundas de outros países, a luminosidade é o parâmetro mais variável. Compreender como as condições climáticas e as técnicas silviculturais aplicadas podem modificar as cores das madeiras de teca, bem como os desenhos nelas presentes, são essenciais para um melhor entendimento da qualidade da madeira e de seus respectivos mercados.

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de teca

Na fabricação de qualquer produto que utilize madeira, seja em partes da sua constituição ou no todo, é ideal que sejam definidas as requisições e as condições do uso final desse produto e que se conheçam as propriedades da madeira da espécie selecionada para adequação de sua utilização. Assim, é importante conhecer as características intrínsecas ou específicas da madeira de cada espécie. Geralmente, as primeiras variáveis a serem observadas são referentes às propriedades físicas e mecânicas: umidade; densidade básica e ou aparente (a determinada umidade); estabilidade dimensional; resistência à compressão (paralela e normal), à tração, ao cisalhamento e ao fendilhamento; dureza Janka e módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) no ensaio de flexão estática.

As avaliações das propriedades físico-mecânicas da madeira são utilizadas como indicadores, que respondem sobre as condições atuais e as especificidades geradas durante a formação do lenho, que podem variar de uma árvore para a outra e são condicionadas aos fatores dos locais de crescimento. Por esse motivo, são investigadas as propriedades da madeira em idade jovem ou adulta e as interações com diferentes genótipos, características edafoclimáticas, tratos silviculturais ou outras variáveis que possam influenciar na sua qualidade.

Para que somente as variações inerentes à madeira sejam avaliadas, as propriedades físicas e mecânicas são determinadas de acordo com as normas regulamentadoras de cada país ou região comercial, que definem as metodologias específicas das análises. Desta maneira, os resultados apresentam confiabilidade e bases comparáveis dentro de um mesmo país. É importante que durante a avaliação das propriedades da madeira de teca haja um acordo entre laboratório, produtores, vendedores e consumidores, para evitar equívocos, confusões e dolo durante a sua comercialização e utilização. Com base nas informações disponíveis em textos científicos publicados e em bancos de dados, as propriedades físicas e mecânicas das madeiras de teca provenientes do Brasil e de outros países foram compiladas e analisadas nessa seção.

Propriedades físicas da madeira

A densidade da madeira é uma propriedade analisada com diferentes finalidades, desde a caracterização simplificada àquela necessária para a produção eficiente de produtos engenheirados, tais como: assoalhos e pisos laminados, esquadrias, molduras, móveis, lâminas decorativas, painéis de madeira colada lateralmente (Edge Glued Panel – EGP) e vigas de madeira laminada colada. Ela é uma propriedade física que quantifica a massa de matéria em um determinado volume, tendo se tornado um indicador básico e inicial na avaliação/seleção da qualidade de espécies madeireiras.

A estabilidade dimensional da madeira é avaliada pela determinação de suas contrações e inchamentos lineares, nos sentidos: longitudinal, radial e tangencial e, também, em volume. Esta propriedade física está atrelada às variações dimensionais que ocorrem devido às alterações de umidade a que a madeira pode ser submetida, dependendo do ambiente em que se encontra ou é utilizada. Portanto, quanto menores as contrações e os inchamentos, menores serão as variações nas dimensões da madeira ao se alterar a umidade, possibilitando maior qualidade às peças e aos produtos. As contrações seguem a ordem de grandeza: tangencial > radial > longitudinal.

O coeficiente de anisotropia (CA) é um indicador adimensional utilizado para interpretações da estabilidade dimensional da madeira, calculado pela divisão da contração tangencial pela radial, com valores compreendidos, normalmente, entre 1 e 3. O CA utiliza a razão entre as duas maiores contrações lineares, pois estas geram tensões internas na madeira em diferentes sentidos que podem se equilibrar. Portanto, menores diferenças entre as contrações tangenciais e radiais aproximam a razão do CA de 1 e indicam uma excelente estabilidade dimensional. Todavia, não somente o CA deve ser considerado, é preciso realizar uma análise conjunta das contrações lineares e volumétricas para concluir sobre a estabilidade dimensional.

As potencialidades das propriedades da madeira de teca são conhecidas mundialmente, sendo possível consultá-las nas bases de informações sobre madeiras da International Tropical Timber Organization (ITTO, 2020), The Wood Database (Meier, 2020) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT, 1997), disponíveis na internet. Essas bases caracterizam a madeira de teca com valores de densidade básica entre 0,53-0,55 g cm^{-3}, densidade aparente a 12% de umidade entre 0,61-0,66 g cm^{-3}, contração radial entre 2,1-2,6%, contração tangencial entre 4,5-5,3%, contração volumétrica entre 6,7-7,2% e coeficiente de anisotropia entre 1,8-2,0.

Essas propriedades gerais da madeira de teca podem ser comparadas àquelas da madeira colhida no Brasil, determinadas pelos diversos estudos realizados com a finalidade de caracterizar a madeira produzida em diferentes idades, materiais genéticos (progênies, procedências, origem seminal e clonal), locais de crescimento, espaçamentos de plantio e práticas silviculturais (Tabela 9). Conhecer as faixas de amplitude das propriedades físicas da madeira de teca, bem como das demais propriedades (anatômicas, químicas, mecânicas e de resistência à deterioração), são importantes em nível de pesquisa, no processo de melhoramento genético e na caracterização dos materiais; para os silvicultores, na observação das respostas que a espécie pode ter às intervenções e cuidados das plantações e, para a indústria e engenheiros, no ajuste dos processos de beneficiamento, direcionamentos às utilizações, dimensionamentos e análises de ciclo de vida comparativas.

As análises das origens das madeiras nos sítios das pesquisas publicadas sobre propriedades físicas da madeira de teca (Tabela 9), indicam uma concentração dos estudos em plantações da espécie nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, com destaque para o estado do Mato Grosso, pioneiro nas plantações de teca no País, por reunir condições edafoclimáticas adequadas ao crescimento da espécie (Leite et al., 2011). Isto demonstra a necessidade de se ampliar a caracterização das madeiras de teca oriundas de outras regiões do País e com variações climáticas (altitudes, temperaturas, precipitações pluviométricas e

déficit hídrico). Observa-se também a importância da consolidação de um programa macro em rede, como forma de avaliar a produtividade, o comportamento silvicultural e a qualidade da madeira de genótipos de teca, previamente selecionados e plantados em diversas regiões climáticas do Brasil, inclusive em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Tabela 9. Propriedades físicas das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil.

Local	Idade (anos)	DA (g cm^{-3})	DB (g cm^{-3})	CR (%)	CT (%)	CV (%)	CA	Referência
Santo Antônio do Leverger, MT	4	0,527$^{12\%}$	0,512	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Espírito Santo	5	-	0,435	-	-	-	-	Gonçalves et al. (2007).
Santo Antônio do Leverger, MT	6	0,514$^{12\%}$	0,506	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Figueirópolis d'Oeste, MT	$6_{(S)}$	-	0,472	-	-	-	-	Oliveira et al. (2017).
	$6_{(C61)}$	-	0,437	-	-	-	-	
	$6_{(C62)}$	-	0,434	-	-	-	-	
	$6_{(C68)}$	-	0,440	-	-	-	-	
Guarapari, ES	6-7	-	0,450	2,73	6,17	9,83	2,26	Paes et al. (2015b).
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	0,569$^{12\%}$	0,484	2,60	4,14	8,06	1,48	Queiroz (2018).
	$9_{(C00)}$	0,497$^{12\%}$	0,420	3,07	4,52	8,93	1,37	
	$9_{(C01)}$	0,490$^{12\%}$	0,410	3,68	4,68	9,74	1,57	
	$9_{(C02)}$	0,519$^{12\%}$	0,439	3,66	4,49	9,45	1,23	
	$9_{(C08)}$	0,530$^{12\%}$	0,451	3,53	3,77	8,55	1,18	
	$9_{(C80)}$	0,572$^{12\%}$	0,488	3,52	3,95	8,77	1,20	
Angatuba, SP	9,4	-	0,489	2,50	5,79	8,40	2,40	Benedetti (2018).
Glória d'Oeste, MT	9,5	-	0,558	1,97	3,58	5,75	1,83	
Cáceres, MT	$11\,/_{4\,m\,x\,2\,m}$	0,720$^{12\%}$	0,608	2,39	3,53	6,51	-	Avelino (2012).
	$11\,/_{5\,m\,x\,2\,m}$	0,666$^{12\%}$	0,573	2,60	2,68	6,29	-	
	$11\,/_{6\,m\,x\,2\,m}$	0,704$^{12\%}$	0,588	2,79	3,11	6,78	-	
São Paulo	12	-	0,435	-	-	-	-	Gonçalves et al. (2007).

Continua . . .

Tabela 9. Continuação.

Local	Idade (anos)	DA (g cm^{-3})	DB (g cm^{-3})	CR (%)	CT (%)	CV (%)	CA	Referência
Santo Antônio do Leverger, MT	12	0,552$^{12\%}$	0,518	-	-	-	-	Chagas et al. (2014).
Cachoeira Dourada, GO	12	0,535$^{12\%}$	0,445	2,07	3,69	6,03	1,85	Scarparo (2015).
Sooretama, ES	12	-	0,524	-	-	8,06	-	NUQMAD-UFES[1].
Vazante, MG	13	0,540$^{12\%}$	0,527	2,40	4,21	6,84	1,82	Flórez (2012).
Vazante, MG	13	-	0,510	1,75	3,49	5,23	1,99	Dias et al. (2018).
Alta Floresta, MT	14	0,557$^{12\%}$	0,490	2,33	4,47	7,07	2,01	Souza (2019).
Nossa Senhora do Livramento, MT	14	0,596$^{12\%}$	0,510	2,06	3,94	6,19	1,97	Souza (2019).
Porto Espiridião, MT	14,4	-	0,554	1,52	2,66	4,41	1,79	Benedetti (2018).
Belo Oriente, MG	15	0,620$^{15\%}$	0,540	2,06	4,09	6,33	2,02	Motta (2011).
Brasnorte, MT	15	0,670$^{12\%}$	-	-	-	-	-	Menezes (2017).
Cáceres, MT	15-18	0,589$^{12\%}$	-	-	-	-	-	Brito (2017).
Cáceres, MT	16	0,655$^{12\%}$	0,540	3,09	3,92	7,14	1,31	Souza (2019).
Ouro Preto d'Oeste, RO	17	0,580$^{12\%}$	0,440	2,30	5,20	7,85	2,79	Mascarenhas (2015).
Brasnorte, MT	18	0,642$^{12\%}$	0,550	1,95	4,28	6,60	2,27	Bonduelle et al. (2015).
Rosário d'Oeste, MT	18,7	-	0,574	1,78	3,24	5,22	1,82	Benedetti (2018).
Belo Oriente, MG	20	0,602$^{12\%}$	0,488	-	-	-	-	Vidaurre et al. (2014).
Mato Grosso	25	-	0,480	1,89	3,57	6,07	1,88	Lengowski et al. (2021).
Pederneiras, SP	32 / 3,0 m x 1,5 m	0,640$^{15\%}$	-	-	-	-	-	Lima et al. (2011b).
	32 / 3,0 m x 2,0 m	0,630$^{15\%}$	-	-	-	-	-	
	32 / 3,0 m x 2,5 m	0,650$^{15\%}$	-	-	-	-	-	
Piracicaba, SP	52	0,640$^{12\%}$	0,540	-	-	-	-	Castro (2011).

DA: densidade aparente; DB: densidade básica; CR: contração radial; CT: contração tangencial; CV: contração volumétrica; CA: coeficiente de anisotropia. S: origem seminal; C: origem clonal. [1]Dados não publicados. Números subscritos na coluna DA são a umidade da madeira, no momento da análise.

As estimativas da densidade básica das madeiras de teca variaram entre 0,410-0,608 g cm^{-3}, nas idades de 4-52 anos, oriundas de plantações das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Nessa amplitude de valores, a madeira de teca brasileira é classificada como de baixa à média densidade (Nennewitz et al., 2008). A maioria das avaliações das propriedades físicas observadas utilizaram madeira jovem de teca, oriunda de desbastes ou de plantações experimentais ou comerciais de curta rotação.

A variabilidade dos valores observados de densidade das madeiras de teca, seja básica ou aparente, ocorre principalmente em função dos diferentes genótipos e dos locais de crescimento e, em segundo plano, pelas idades das árvores. Ao analisar os dados de densidade da madeira por idade, não fica tão evidente o seu efeito (Tabela 9), mas, por faixas etárias a cada dez anos, é possível observar a formação de lenho mais denso nas idades mais avançadas.

Há uma lacuna no conhecimento quanto aos valores de contrações lineares e volumétricas das madeiras de teca colhidas no Brasil, com idades acima de 30 anos (Tabela 9). Esses valores são importantes para formar um banco de dados da qualidade da madeira de teca em idades adultas, almejadas pelo mercado, sendo possível gerar discussões, direcionamentos e um referencial para as plantações em desenvolvimento.

Nas idades entre 6-25 anos, as madeiras de teca brasileiras apresentaram entre 1,52-3,68% de contração radial, 2,66-6,17% de contração tangencial e 4,41-9,83% de contração volumétrica. Nessas amplitudes, as contrações lineares e volumétrica podem ser classificadas de mínimas à médias (Bárcenas, 1985). As maiores contrações lineares e volumétricas foram observadas para as madeiras com idades inferiores aos dez anos, o que demonstra a influência característica do lenho juvenil, com células de parede celular menos espessas, mais curtas e de maior ângulo microfibrilar.

Apesar da curta rotação, as madeiras de teca, colhidas no Brasil e com idades acima dos dez anos, apresentam excelente estabilidade dimensional, pois as contrações lineares e volumétricas são classificadas como baixas, em sua maioria. Uma exceção ocorre para a madeira oriunda de Ouro Preto d'Oeste, RO, com 17 anos, que apresentou contração tangencial média (5,20%) e coeficiente de anisotropia muito alto (2,79). Esses valores acima da amplitude média ocorrem naturalmente devido às influências dos genótipos, do local de crescimento e dos tratos silviculturais adotados na plantação, bem como da estratégia de amostragem da madeira. No caso do material genético mencionado, a maior disponibilidade de chuvas, bem como as condições edáficas no local de crescimento contribuíram para a maior produtividade das árvores, associada à formação de células características do lenho juvenil, que reduziu a densidade e a estabilidade dimensional da madeira.

Em vista da alta estabilidade dimensional da madeira de teca, a sua contração longitudinal é pouco estudada, o mesmo ocorre com outras espécies madeireiras, sendo por vezes considerada inexpressiva pelo seu baixo valor. Todavia, em madeiras de idades jovens, pela maior proporção de lenho juvenil, a contração longitudinal pode superar 1%, o que pode causar deformações significativas nas peças serradas. As madeiras de origens seminais e clonais, colhidas aos nove anos em Barra do Bugres, MT, não apresentaram diferenças significativas de contração longitudinal entre os genótipos, com valores entre 0,69-0,78% (Queiroz, 2018).

Nos estudos desenvolvidos no Brasil, foram analisados diversos fatores que influenciam a qualidade da madeira de teca, tais como: diferentes locais de crescimento, idades de corte e de desbaste, espaçamentos de plantio e sistemas de monocultivo e agroflorestais. Os valores da densidade básica e aparente da madeira de teca, aos nove anos de idade, de origens seminais e clonais (C02, C08 e C80), não apresentaram diferenças significativas (Queiroz, 2018). As contrações lineares e volumétricas da madeira desses materiais genéticos também foram semelhantes. No entanto, as contrações radiais e volumétricas foram elevadas quando comparadas às médias dos demais estudos. Nesse caso, são evidenciadas as influências das variações de crescimento entre genótipos, apesar do mesmo local de crescimento.

No interior do fuste, as variabilidades das propriedades físicas da madeira ocorrem ao longo do diâmetro e da altura. A densidade aparente da madeira de teca, aos 32 anos de idade, plantada em Pederneiras, SP, foi igual a 0,620 g cm^{-3} na posição de amostragem próxima à medula e 0,650 g cm^{-3} nas posições intermediárias e circunvizinhas à casca (Avelino, 2012). Nesta idade, o comportamento da densidade aparente da madeira de teca é característica do lenho adulto, devido à estabilização dos valores nas posições intermediárias e próximas à casca, independente do espaçamento de plantio, sendo o lenho juvenil restrito à região circunvizinha à medula.

Os valores da densidade da madeira das árvores de teca plantadas no Brasil apresentam uma redução da base até a posição de 25% da altura comercial, seguida de uma estabilização ou aumento até 75% e decréscimo em direção topo da árvore (Bonduelle et al., 2015; Gil et al., 2018). Tal comportamento pode estar relacionado às exigências mecânicas de sustentação dos troncos e das copas das árvores (Sette Júnior et al., 2012).

Após as descrições das propriedades das madeiras de teca colhidas no Brasil, são apresentadas as informações das madeiras provenientes da América Central e do Sul (Tabela 10) e da Ásia e África (Tabela 11). Nos estudos internacionais, além da densidade, é utilizado o peso específico básico (basic specific gravity), que é determinado da mesma forma que a densidade, com acréscimo de uma constante para padronizar o valor como

adimensional. O fator aplicado para g cm^{-3} é igual a 1 e, por isso, os métodos se equivalem e podem ser comparados diretamente.

Tabela 10. Propriedades físicas das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento, em países da América Central e do Sul.

Local	Idade (anos)	$DA_{12\%}$ (g cm^{-3})	DB (g cm^{-3})	PEB	CR (%)	CT (%)	CV (%)	Referência
Combate e San Cristóbal, Costa Rica	4	-	0,460	-	3,29	5,36	10,42	Solorzano et al. (2012).
Cochabamba, Bolívia	8	0,580	-	0,500	2,57	5,33	8,01	Rivero e Moya (2006).
Costa Rica	10	-	-	0,480	2,70	4,20	7,20	Moya et al. (2013).
Costa Rica	11	-	0,590	-	-	-	-	Méndez-Mejías e Moya (2016).
Nuevo Urecho, México	11	-	0,590	-	1,61	2,99	5,15	Antonio et al. (2017).
Córdoba, Colômbia	13	0,600	-	0,550	2,01	3,92	5,85	Betancur et al. (2000).
Guanacaste, Costa Rica	17	-	-	0,580	2,20	3,90	6,20	Castro e Raigosa (2000).
Balzar, Equador	18	-	-	0,520	2,06	5,22	7,77	Gutiérrez et al. (2008).
Barinas, Venezuela	20	0,631	-	0,550	2,48	3,37	6,18	Valero et al. (2005).
Quevedo, Equador	22	-	-	0,480	2,04	5,66	8,11	Gutiérrez et al. (2008).

$DA_{12\%}$: densidade aparente a 12% de umidade; DB: densidade básica; PEB: peso específico básico; CT: contração tangencial; CR: contração radial; CV: contração volumétrica.

Tabela 11. Propriedades físicas das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento, em países da Ásia e África.

Local	Idade (anos)	$DA_{12\%}$ (g cm^{-3})	DB (g cm^{-3})	PEB	CR (%)	CT (%)	CV (%)	Referência
Índia, Ásia meridional								
Nilambur, Índia (S)	8	-	0,582	-	-	-	-	Bhat (1995).
	$8_{(T1)}$	-	-	0,545	-	-	-	Priya e Bhat (1997).
	$8_{(T2)}$	-	-	0,555	-	-	-	Priya e Bhat (1997).
	13	-	0,632	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
	21	-	0,626	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
	21	0,618	-	-	-	-	-	Bhat e Priya (2004).

Continua . . .

Tabela 11. Continuação.

Local	Idade (anos)	$DA_{12\%}$ ($g\ cm^{-3}$)	DB ($g\ cm^{-3}$)	PEB	CR (%)	CT (%)	CV (%)	Referência
Índia, Ásia meridional								
Ernakulam, Índia (S)	35	0,649	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Palakkad, Índia (S)	35	0,691	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Nilambur, Índia (S)	35	0,631	-	-	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
	55	-	0,643	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
Índia, Ásia meridional								
Querala, Índia (S)	$63_{(CR)}$	-	-	0,560 (LJ)	-	-	-	Bhat et al. (2001).
	$63_{(CR)}$	-	-	0,570 (LA)	-	-	-	
	$63_{(CL)}$	-	-	0,570 (LJ)	-	-	-	
	$63_{(CL)}$	-	-	0,540 (LA)	-	-	-	
Nilambur, Índia (S)	65	-	0,640	-	-	-	-	Bhat e Indira (1997).
Nilambur, Índia (S)	65	0,665	-	-	-	-	-	Bhat e Priya (2004).
Thane, Índia (E)	120-154	-	0,665 (LJ)	-	-	-	-	Sinha et al. (2014).
			0,613 (LA)	-	-	-	-	
Sudeste Asiático								
Laos (S)	10	-	0,532	-	2,13	3,43	-	Wanneng et al. (2014).
Java, Indonésia (S)	12	-	0,510	-	-	-	-	Hidayati et al. (2014).
Muheza, Tanzânia (S)	$14/_{2m\times2m}$	-	0,502	-	-	-	-	Zahabu et al. (2015).
	$14/_{3m\times3m}$	-	0,485	-	-	-	-	
	$14/_{4m\times4m}$	-	0,459	-	-	-	-	
Laos (S)	15	-	0,520	-	2,15	3,50	-	Wanneng et al. (2014).
	20	-	0,527	-	2,24	3,54	-	
	25	-	0,496	-	2,16	3,50	-	

Continua . . .

Tabela 11. Continuação.

Local	Idade (anos)	$DA_{12\%}$ (g cm^{-3})	DB (g cm^{-3})	PEB	CR (%)	CT (%)	CV (%)	Referência
Sudeste Asiático								
Sylhet, Bangladesh (S)	32-38	-	-	0,605	-	-	-	Rahman et al. (2004).
Rangamati, Bangladesh (S)	37-45		-	0,701	-	-	-	
Lautem, Timor Leste (S)	50-70	-	0,607	-	3,50	5,17	7,60	Miranda et al. (2011).
África								
Sawla-Tuna-Kalba, Gana (S)	10-20	0,653	-	-	-	-	-	Amoah e Inyong (2019).
Twifo-Heman-Lower Denkyira, Gana (S)	10-20	0,673	-	-	-	-	-	Amoah e Inyong (2019).
Edo, Nigéria (S)	15	0,480	-	-	-	-	-	Izekor et al. (2010).
	20	0,556	-	-	-	-	-	
	25	0,650	-	-	-	-	-	

$DA_{12\%}$: densidade aparente a 12% de umidade; DB: densidade básica; PEB: peso específico básico; CR (%): contração radial; CT: contração tangencial; CV: contração volumétrica; (S): origem de silvicultura; (E): origem de extrativismo. Números sobrescritos são os espaçamentos dos plantios, em metros, ou seguem a legenda: T1: tratamento controle ou sem proteção inseticida das árvores; T2: tratamento com proteção inseticida das árvores; CR: crescimento rápido; CL: crescimento lento; LJ: Lenho juvenil; LA: lenho adulto.

As madeiras de teca, oriundas da Bolívia, da Colômbia, da Costa Rica, do Equador, do México e da Venezuela, apresentaram valores de densidade básica ou peso específico básico convertido entre 0,460-0,590 g cm^{-3}, valores dentro da amplitude observada para a madeira colhida no Brasil, sendo também classificadas como baixas à médias. As madeiras colhidas nesses países apresentam contração radial entre 1,61-3,29%, contração tangencial entre 2,99-5,66% e contração volumétrica entre 5,15-10,42%, sendo classificadas de mínimas à médias. Menores estabilidades dimensionais para as madeiras, com idades inferiores aos dez anos, também foram observadas nesses países (Rivero; Moya, 2006; Solorzano et al., 2012).

Quanto às propriedades físicas das madeiras de teca provenientes da Ásia e África (Tabela 11), os valores da Ásia se destacam, pois, a teca tem ocorrência natural na região da Ásia meridional e Sudeste asiático, e, consequentemente, é possível realizar a amostragem das madeiras colhidas em idades mais avançadas entre 35-154 anos. Esses estudos são destaques, sendo possível tomá-los como base para conhecimento das características do lenho adulto de teca em sua área de ocorrência natural.

Os valores de densidade básica e peso específico básico das madeiras colhidas na Índia estão compreendidos entre 0,540-0,665 g cm^{-3}, nas idades entre 8-154 anos, e da densidade aparente entre 0,618-0,691 g cm^{-3}, nas idades entre 13-35 anos, sendo classificadas como classe de média densidade. Para as madeiras do sudeste asiático, os valores de densidade básica variaram entre 0,459-0,607 g cm^{-3} para as idades entre 10-70 anos. Nos países africanos, os valores de densidade aparente variaram entre 0,480-0,673 g cm^{-3} entre as idades de 10-25 anos. É possível observar menores densidades básicas das madeiras colhidas no sudeste asiático em comparação àquelas da Índia, mas com valores próximos aos da América do Sul e Central, também com idades até 30 anos.

Dentre os materiais listados na Tabela 11, apenas duas origens foram avaliadas quanto à estabilidade dimensional da madeira. Dentre os trabalhos publicados com as madeiras de teca da Índia e da África, as contrações lineares e volumétricas da madeira não foram avaliadas, o que deixa uma lacuna no conhecimento dessa propriedade física da madeira, oriunda desses locais de crescimento e em idades avançadas. Os valores de contrações tangenciais e radiais observados para madeiras de Laos possuem pouca variação com o avançar das idades entre 10-25 anos e são bem condizentes com os valores padrões para as madeiras de teca, levantados nas bases de dados online de madeiras. Entretanto, os valores de contrações radiais e volumétricas observados para a madeira de teca oriunda de Timor Leste, nas idades entre 50-70 anos, ficaram acima do esperado, sendo que esses resultados estão atrelados aos diferentes materiais genéticos e condições dos locais de crescimento.

Propriedades mecânicas da madeira

As informações sobre as propriedades mecânicas das madeiras de teca presentes nas bases de dados da ITTO, The Wood Database e IPT, as referenciam como de resistência à compressão paralela entre 44,9-54,8 MPa, módulo de ruptura (MOR) à flexão estática entre 92-98,6 MPa, módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática entre 9,31-12,28 GPa, resistência ao cisalhamento de 10,88 MPa e dureza axial entre 4,71-5,60 KN.

Em sequência disso, serão apresentadas as informações disponíveis sobre as propriedades mecânicas das madeiras de teca provenientes de diferentes locais de crescimento do Brasil (Tabela 12). As propriedades das madeiras de teca oriundas de árvores jovens, em plantações brasileiras e de curta rotação, a depender do genótipo, do local de crescimento e dos tratos silviculturais, possuem valores de resistência e rigidez semelhantes àqueles das bases de dados disponíveis online, que são referenciais das madeiras de teca colhidas em idades mais avançadas.

Tabela 12. Propriedades mecânicas das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil.

Local	Idade (anos)	CP (MPa)	Flexão estática		Cis. (MPa)	Dureza (KN)		Referência
			MOR (MPa)	MOE (GPa)		Axial	Perp.	
Guarapari, ES	6-7	39,23	88,52	9,90	-	-	-	Paes et al. (2015b).
Barra do Bugres, MT	$9_{(S)}$	40,81	103,73	9,14	-	-	-	Queiroz (2018).
	$9_{(C00)}$	39,80	92,98	9,21	-	-	-	
	$9_{(C01)}$	30,13	90,42	8,92	-	-	-	
	$9_{(C02)}$	39,26	89,73	9,20	-	-	-	
	$9_{(C08)}$	41,83	92,92	9,77	-	-	-	
	$9_{(C80)}$	38,87	86,43	8,89	-	-	-	
Angatuba, SP	9,4	34,04	81,96	10,00	12,77	-	3,17	Benedetti (2018).
Glória d'Oeste, MT	9,5	41,71	97,01	10,96	16,40	-	4,02	Benedetti (2018).
Cáceres, MT	$11\ /_{6\ m\ x\ 2\ m}$	41,88	96,00	-	-	4,61	4,20	Avelino (2012).
	$11\ /_{5\ m\ x\ 2\ m}$	44,19	91,00	-	-	4,84	4,55	
	$11\ /_{4\ m\ x\ 2\ m}$	48,09	106,10	-	-	5,32	4,42	
Cachoeira Dourada, GO	12	30,14	81,51	7,83	-	-	-	Scarparo (2015).
Vazante, MG	13	43,58	91,88	13,04	-	-	4,42	Flórez (2012).
Alta Floresta, MT	14	-	98,86	10,76	-	-	-	Souza (2019).
Nossa Senhora do Livramento, MT	14	-	101,61	10,77	-	-	-	Souza (2019).
Porto Espiridião, MT	14,4	38,54	89,85	10,03	14,33	-	3,48	Benedetti (2018).
Belo Oriente, MG	15	54,23	98,75	9,46	12,25	-	-	Motta (2011).
Brasnorte, MT	15	57,00	117,00	12,30	-	-	-	Menezes (2017).
Cáceres, MT	15-18	41,00	94,00	10,12	-	-	-	Brito (2017).
Cáceres, MT	16		109,69	12,09	-	-	-	Souza (2019).
Ouro Preto d'Oeste, MT	17	30,87	59,42	5,97	-	-	-	Mascarenhas (2015).
Rosário d'Oeste, MT	18,7	41,98	96,83	11,93	16,41	-	3,47	Benedetti (2018).
Mato Grosso	25	-	69,39	7,20	-	4,92	4,37	Lengowski et al. (2021).
Pederneiras, SP	$32\ /_{3,0\ m\ x\ 1,5\ m}$	46,93	103,37	12,11	11,30	-	-	Lima et al. (2011b).
	$32\ /_{3,0\ m\ x\ 2,0\ m}$	47,30	99,73	11,78	11,45	-	-	
	$32\ /_{3,0\ m\ x\ 2,5\ m}$	46,55	103,49	11,42	11,53	-	-	

CP: compressão paralela; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; Cis.: cisalhamento; Perp.: perpendicular. S: origem seminal; C: origem clonal.

As propriedades mecânicas das madeiras de teca provenientes de plantações no Brasil apresentaram as seguintes amplitudes de valores: compressão paralela às fibras entre 30,13-54,23 MPa, MOR entre 59,42-109,69 MPa, MOE entre 5,97-13,04 GPa, cisalhamento entre 11,30-16,40 MPa e dureza axial e perpendicular às fibras entre 4,61-5,32 KN e 3,17-4,55 KN, respectivamente (Tabela 12). Neste contexto, as madeiras de teca brasileiras apresentam valores médios de resistência à compressão paralela, valores de MOR predominantemente altos, valores de MOE variando de baixos a altos, média a alta resistência ao cisalhamento e dureza mediana. Dentre estas propriedades, a resistência ao cisalhamento atingiu a maior variação entre os materiais listados, cerca de 69%, seguida pelo MOE. Assim como ocorre para as propriedades físicas, os genótipos e os locais de crescimento têm efeitos primários nas propriedades mecânicas das madeiras de teca, seguidos pelas idades.

Nas madeiras de teca provenientes de plantações de outros países, algumas propriedades apresentaram variações semelhantes àquelas do Brasil e, em outras, os comportamentos foram distintos. Nas madeiras de povoamentos de teca da América Central e do Sul, da Ásia e da África, os valores de resistência ao cisalhamento também foram os mais variáveis dentre os estudos (Tabela 13). No entanto, as madeiras da América Central e do Sul apresentaram valores inferiores de resistências à compressão paralela às fibras e ao cisalhamento, em relação àquelas provenientes do Brasil.

Tabela 13. Propriedades mecânicas das madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento em outros países.

Local	Idade (anos)	CP (MPa)	Flexão estática		Cis. (MPa)	Dureza (KN)		Referência
			MOR (MPa)	MOE (GPa)		Axial	Perp.	
Américas Central e do Sul								
Cochabamba, Bolívia	8	45,17	94,50	10,33	12,27	4,07	3,51	Moreno e Moya (2006).
Nuevo Urecho, México	11	24,78	-	-	6,20	-	-	Antonio et al. (2017).
Córdoba, Colômbia	13	43,56	88,76	10,24	10,18	5,48	5,16	Betancur et al. (2000).
Guanacaste, Costa Rica	17	33,93	75,21	9,77	10,00	5,75	5,88	Castro e Raigosa (2000).
Índia								
Nilambur	21	53,90	133,20	13,64	-	-	-	Bhat e Priya (2004).

Continua . . .

Tabela 13. Continuação.

Local	Idade (anos)	CP (MPa)	Flexão estática		Cis. (MPa)	Dureza (KN)		Referência
			MOR (MPa)	MOE (GPa)		Axial	Perp.	
Índia								
Ernakulam	35	52,07	109,89	9,10	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Palakkad	35	60,60	118,01	9,71	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Nilambur	35	55,56	111,20	10,04	-	-	-	Thulasidas e Bhat (2012).
Querala	$63_{(CR)\ (LJ)}$	45,00	98,30	12,70	-	-	-	Bhat et al. (2001).
	$63_{(CR)\ (LA)}$	47,00	124,20	15,74				
	$63_{(CL)\ (LJ)}$	54,00	114,00	14,46				
	$63_{(CL)\ (LA)}$	53,00	134,60	16,22				
Nilambur	65	59,00	103,80	12,51	-	-	-	Bhat e Priya (2004).
Ásia e África								
Tailândia	9	32,00	-	-	11,28	-	-	Seviset et al. (2017).
Muheza, Tanzânia	9	40,99	79,07	8,27	8,93	-	-	Zahabu et al. (2015).
	10	39,90	82,20	8,27	8,70	-	-	
Sawla-Tuna-Kalba, Gana	10-20	52,00	75,00	9,92	15,00	8,00	-	Amoah e Inyong (2019).
Twifo-Heman-Lower Denkyira, Gana	10-20	49,00	88,00	12,42	16,00	9,00	-	Amoah e Inyong (2019).
Muheza, Tanzânia	11	39,47	81,86	7,16	8,47	-	-	Zahabu et al. (2015).
Longuza, Tanzânia	$14\ /_{2\ m\ x\ 2\ m}$	39,68	89,00	7,18	8,28	-	-	Sibomana et al. (1997).
	$14\ /_{2,5\ m\ x\ 2,5\ m}$	42,23	96,00	8,12	8,81	-	-	
	$14\ /_{3\ m\ x\ 3\ m}$	44,72	118,00	11,43	10,56	-	-	
Edo, Nigéria	15	43,74	76,86	6,84	-	-	-	Izekor et al. (2010).
	20	58,47	103,95	9,92	-	-	-	
	25	75,36	134,69	12,84	-	-	-	
Lautem, Timor Leste	50-70	50,00	141,00	10,68	-	-	-	Miranda et al. (2011).

CP: compressão paralela; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; Cis.: cisalhamento; Perp.: perpendicular; CR: crescimento rápido; LJ: lenho juvenil; LA: lenho adulto; CL: crescimento lento.

As madeiras de teca provenientes da Índia, além de apresentarem menores variações nos valores das propriedades mecânicas, possuem maior resistência à compressão paralela às fibras e MOE que àquelas madeiras de árvores de teca plantadas em outras localidades, o que, certamente, tem relação com as idades avançadas dos materiais e com a predominância de lenho adulto. As madeiras de teca indianas possuem, para a maioria dos materiais avaliados, altos valores de resistência à compressão e de MOR e valores de MOE que variam de medianos a altos. O destaque nessas propriedades mecânicas das madeiras de teca, independente da origem, é o alto MOR no ensaio de flexão estática. Esses valores das propriedades mecânicas da madeira de teca a qualificam para utilização em diversas aplicações, sendo importante ponderar a origem e a idade do material para aquelas aplicações de maior exigência mecânica.

Durabilidade natural e resistência biológica da madeira de teca

Para produzir madeira de teca de alta durabilidade natural para produtos especiais e usos externos, Thulasidas e Baillères (2017) recomendaram a estratégia de utilização de rotações mais longas, entre 50-60 anos de idade ou mais, desconsiderando os investimentos e os benefícios da curta rotação. Contudo, acredita-se que esta consideração não seja aplicável, por todo o know-how obtido no Brasil com o desenvolvimento de procedimentos operacionais no cultivo e manejo da teca, uso de clones mais produtivos e silvicultura de precisão, e pelo seu potencial ainda maior de aprimoramento. Como meta futura, é importante selecionar e gerar materiais de teca com alta produtividade de madeira e maior durabilidade e resistência aos organismos xilófagos, mesmo em rotações menores (18-30 anos, por exemplo). Uma combinação do ambiente de crescimento, de genótipo e de execução de práticas silviculturais adequadas é fundamental para potencializar ainda mais esse desenvolvimento.

A durabilidade natural é a capacidade intrínseca da madeira de resistir à deterioração e ao ataque de organismos xilófagos. Ela é, em grande parte, determinada pelos vários compostos polifenólicos (extrativos) incrustados na parede celular e, também, de outros derivados de antraquinona e de naftoquinona que oferecem diferentes níveis de resistência à deterioração da madeira de teca. As madeiras de árvore de teca de crescimento rápido são menos duráveis que àquelas madeiras de árvores de crescimento lento e em idades avançadas, certamente pela menor quantidade desses componentes químicos (Thulasidas; Baillères, 2017).

Em relação aos organismos xilófagos, os fungos e cupins são os mais comuns e promovem danos econômicos significativos à madeira, sendo extremamente importante avaliar a sua

resistência natural para todas as aplicações como produto sólido, independente da espécie. Vale ressaltar que todas as madeiras são passíveis de deterioração, sendo importante observar as formas de utilização, condições de projetos e os métodos de tratamentos mais adequados para prolongar a vida útil da madeira.

Os fungos xilófagos são classificados em manchadores, emboladores e apodrecedores, sendo estes últimos considerados nesse capítulo. A depender do componente estrutural da parede celular predominantemente degradado pelos seus sistemas enzimáticos, os fungos apodrecedores são classificados em:

a) Podridão branca: degradação da celulose, da hemicelulose e da lignina;

b) Podridão parda: seletividade na degradação da celulose e da hemicelulose;

c) Podridão mole: degradação da celulose e da hemicelulose, com danos mais superficiais.

Para as madeiras oriundas de plantações do Brasil ou de outros países, há maior concentração de estudos da resistência natural da teca ao fungo de podridão branca, *Trametes versicolor* e aos fungos de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta* (Tabela 14). As madeiras de teca, produzidas no Brasil, apresentam valores de resistência de moderados a altos aos fungos de podridão branca e parda, sendo observada a influência da espécie de fungo deteriorador, da porção do lenho avaliada, se é cerne ou alburno, do genótipo, da idade e do local de crescimento. As madeiras de alburno de teca oriundas de plantações brasileiras são classificadas como moderadamente resistentes aos fungos de podridão branca, independente do genótipo, da idade e do local de crescimento, sendo as amostras de cerne altamente resistentes para a maioria das espécies de fungos desse grupo. Para algumas espécies de fungos de podridão parda ficam evidentes os efeitos dos genótipos e, também, dos locais de crescimento das árvores, pois, em alguns casos, materiais mais jovens e o alburno apresentaram maior resistência à perda de massa quando comparados aos materiais mais velhos e do próprio cerne.

Entre os fungos de podridão parda, ao se considerarem as degradações das madeiras dos mesmos materiais genéticos de teca oriundos do Brasil (idades e locais de crescimento), *Gloeophyllum trabeum* foi o fungo causador de maior perda de massa, seguido de *Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*. Quanto às posições de amostragem, observa-se a redução da perda de massa do cerne interno para o intermediário e, deste para o externo, mediante os ataques dos fungos de podridão branca e parda, com pico de deterioração no alburno.

Para as madeiras de teca oriundas de plantações de outros países, destacam-se as classificações como resistente a altamente resistente aos fungos de podridão branca, *Trametes hirsuta*, *Schizophyllum commune* e *Pycnoporus sanguineus* e de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum*. No geral, para esse sortimento, observam-se reduções das perdas de massas causadas pelos fungos xilófagos com o avançar das idades. Pelo fato ser nativa também na Índia e, pela sua representatividade no mercado internacional, é importante detalhar as madeiras de teca indianas, as quais são classificadas entre resistentes a altamente resistentes para a maioria dos fungos xilófagos estudados (Tabela 14).

Tabela 14. Perda de massa causada por fungos de podridão branca e parda nas madeiras de teca colhidas em diferentes idades e locais de crescimento no Brasil e em outros países.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Classe[1]	Referência
Brasil – Podridão branca					
Tangará da Serra, MT	$6_{(Cer.)}$ $6_{(Alb.)}$	*Trametes versicolor*	18,90 40,80	R MR	Oliveira et al. (2019).
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Trametes versicolor*	15,83	R	Brocco et al. (2017).
Cáceres, MT	15-18	*Trametes versicolor*	7,77	AR	Brito (2017).
Belo Oriente, MG	20	*Trametes versicolor*	1,94	AR	Brocco et al. (2017).
Cuiabá, MT	$20_{(Cer.)}$ $20_{(Alb.)}$	*Trametes versicolor* *Trametes versicolor*	8,30 24,99	AR MR	Brochini (2019).
Belo Oriente, MG	$15_{(Cint.)}$ $15_{(Cmed.)}$ $15_{(Cext.)}$ $15_{(Alb.)}$	*Polyporus fumosus*	9,03 3,25 2,11 28,65	AR AR AR MR	Motta et al. (2013).
Brasnorte, MT	15	*Ganoderma applanatum*	1,31	AR	Menezes (2017).
Brasil – Podridão parda					
Tangará da Serra, MT	$6_{(Cer.)}$ $6_{(Alb.)}$	*Gloeophyllum trabeum*	1,73 2,27	AR	Oliveira et al. (2019).
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Gloeophyllum trabeum*	25,12	MR	Brocco et al. (2017).
Belo Oriente, MG	20	*Gloeophyllum trabeum*	6,71	AR	Brocco et al. (2017).
Cuiabá, MT	$20_{(Cer.)}$ $20_{(Alb.)}$	*Gloeophyllum trabeum*	10,18 24,16	R MR	Brochini (2019).

Continua . . .

Tabela 14. Continuação.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Classe[1]	Referência
Brasil – Podridão parda					
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Neolentinus lepideus*	4,24	AR	Brocco et al. (2017).
Belo Oriente, MG	$15_{(Cint.)}$	*Neolentinus lepideus*	3,38	AR	Motta et al. (2013).
	$15_{(Cmed.)}$		0,93	AR	
	$15_{(Cext.)}$		1,00	AR	
	$15_{(Alb.)}$		22,31	R	
Belo Oriente, MG	20	*Neolentinus lepideus*	0,72	AR	Brocco et al. (2017).
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Postia placenta*	13,44	R	Brocco et al. (2017).
Belo Oriente, MG	$15_{(Cint.)}$	*Postia placenta*	7,51	AR	Motta et al. (2013).
	$15_{(Cmed.)}$		2,54		
	$15_{(Cext.)}$		1,53		
	$15_{(Alb.)}$		23,18	R	
Cáceres, MT	15-18	*Postia placenta*	11,60	R	Brito (2017).
Belo Oriente, MG	20	*Postia placenta*	1,43	AR	Brocco et al. (2017).
Cuiabá, MT	$20_{(Cer.)}$	*Postia placenta*	7,68	AR	Brochini (2019).
	$20_{(Alb.)}$		19,89	R	
Outros países – Podridão branca					
Querala, Índia	5	*Trametes versicolor*	21,40	R	Bhat e Florence (2003).
Campeche, México	9	*Trametes versicolor*	24,60	MR	Anda et al. (2019).
Costa Rica	$10_{(Cer.)}$	*Trametes versicolor*	16,90	R	Moya et al. (2013).
	$10_{(Alb.)}$		30,50	MR	
Querala, Índia	13	*Trametes versicolor*	11,00	R	Bhat e Florence (2003).
Campeche, México	15	*Trametes versicolor*	6,50	AR	Anda et al. (2019).
Chiapas, México	21	*Trametes versicolor*	12,70	R	Anda et al. (2019).
Querala, Índia	21	*Trametes versicolor*	11,80	R	Bhat e Florence (2003).
Querala, Índia	$35_{(AU)}$	*Trametes versicolor*	1,94	AR	Bhat et al. (2005).
	$35_{(AS)}$		1,73	AR	
	$35_{(PF)}$		1,65	AR	
Querala, Índia	55	*Trametes versicolor*	7,60	AR	Bhat e Florence (2003).

Continua . . .

Tabela 14. Continuação.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Classe[1]	Referência
Outros países – Podridão branca					
Querala, Índia	5 13 21	*Trametes hirsuta*	20,80 12,00 13,00	R R R	Bhat e Florence (2003).
Querala, Índia	$35_{(AU)}$ $35_{(AS)}$ $35_{(PF)}$	*Trametes hirsuta*	2,76 3,02 2,16	AR AR AR	Bhat et al. (2005).
Querala, Índia	55	*Trametes hirsuta*	9,00	AR	Bhat e Florence (2003).
Índia	8-10	*Schizophyllum commune*	24,05	R	Koyani e Rajput (2014).
Gujarate, Índia	10-15	*Schizophyllum commune*	13,90	R	Nagadesi et al. (2013).
Campeche, México	9	*Phanerochaete chrysosporium*	1,70	AR	Anda et al. (2019).
Tabasco, México	15	*Phanerochaete chrysosporium*	1,30	AR	Anda et al. (2019).
Campeche, México	15	*Phanerochaete chrysosporium*	0,90	AR	Anda et al. (2019).
Chiapas, México	21	*Phanerochaete chrysosporium*	0,60	AR	Anda et al. (2019).
Gujarate, Índia	NI	*Phanerochaete chrysosporium*	30,05	MR	Koyani e Rajput (2014).
Costa Rica	$10_{(Cer.)}$ $10_{(Alb.)}$	*Pycnoporus sanguineus*	7,30 15,10	AR R	Moya et al. (2013).
Querala, Índia	$35_{(AU)}$ $35_{(AS)}$ $35_{(PF)}$	*Pycnoporus sanguineus*	1,86 1,70 2,06	AR AR AR	Bhat et al. (2005).
Gujarate, Índia	10-15 10-15 10-15 10-15	*Lenzites stereoides* *Lenzites sp.* *Hexagonia apiaria* *Trichoderma viride*	26,00 5,10 27,90 4,70	MR AR MR AR	Nagadesi et al. (2013).
Gujarate, Índia	NI	*Irpex lacteus*	27,97	MR	Koyani e Rajput (2014).

Continua . . .

Tabela 14. Continuação.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Classe[1]	Referência
Outros países – Podridão parda					
Campeche, México	9	*Gloeophyllum trabeum*	1,10	AR	Anda et al. (2019).
	15		1,50	AR	
Tabasco, México	15	*Gloeophyllum trabeum*	1,60	AR	Anda et al. (2019).
Chiapas, México	21	*Gloeophyllum trabeum*	0,90	AR	Anda et al. (2019).
Querala, Índia	$35_{(AU)}$	*Gloeophyllum trabeum*	7,05	AR	Bhat et al. (2005).
	$35_{(AS)}$		4,28	AR	
	$35_{(PF)}$		2,34	AR	
Querala, Índia	$35_{(AU)}$	*Polyporus palustris*	43,30	MR	Bhat et al. (2005).
	$35_{(AS)}$		18,41	R	
	$35_{(PF)}$		26,88	MR	

[1]Classificação realizada pelos autores conforme norma ASTM D-2017 (2005). R: resistente; MR: moderadamente resistente; AR: altamente resistente. Cer.: cerne; Alb.: alburno; Cint.: cerne interno; Cmed.: cerne mediano; Cext.: cerne externo; AU: arboreto úmido; AS: arboreto seco (arboreto); PF: plantação florestal. NI: não informado.

As madeiras de teca foram classificadas como moderadamente resistentes às deteriorações pelos fungos de podridão branca, *Lenzites stereoides*, *Hexagonia apiaria* e *Irpex lacteus* e altamente resistentes às ações de *Ganoderma applanatum*, *Lenzites* sp. e *Trichoderma viride* (Tabela 14). Todavia, ainda há um número limitado de estudos publicados, o que não possibilita uma descrição mais abrangente da influência do genótipo, dos locais de crescimento e das idades na resistência natural da madeira de teca a essas espécies de fungos.

Quanto à resistência aos cupins, a madeira de cerne da teca é resistente por causa da presença de tectoquinona (cerca de 1%) e, também, contém 3% de caucho (composto antioxidante), que proporcionam repelência à umidade e uma sensação oleosa à superfície da madeira. A combinação de toxicidade e de hidrorrepelência proporcionada pelos extrativos ocasiona alta durabilidade natural e estabilidade dimensional à madeira de teca (Thulasidas; Baillères, 2017).

A resistência da madeira de teca ao ataque de cupins subterrâneos foi observada apenas para materiais oriundos do Brasil (Tabela 15). Os cupins térmitas do gênero *Nasutitermes* promoveram desgastes de intenso a sadio, nos quais há apenas escarificações superficiais na madeira. Desgaste classificado como “falha”, no qual se observa a ruptura do lenho ao longo da dimensão das amostras, foi observado apenas para a madeira de alburno. No contexto, a resistência ao ataque depende do genótipo, da idade e do local de crescimento das árvores de teca.

A espécie de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*, causou desgaste mínimo a moderado na madeira de teca. Para a maioria das observações, as perdas de massas ocasionadas pelos ataques desses cupins são menores nas madeiras de cerne e diminuem com o avançar das idades das árvores (Tabela 15). Pelo número de trabalhos publicados, referentes à avaliação da resistência ao ataque de cupins de madeira seca, conclui-se pela necessidade de elaboração e de implementação de novos projetos de pesquisas sobre esse assunto, para ampliar a base de informações quanto às madeiras de teca oriundas de diferentes genótipos, locais de crescimento, sob diferentes técnicas de manejo e idades. Esses conhecimentos são fundamentais para analisar a necessidade de alterações de escopo de projetos, otimização de processos, realização de tratamentos preservativos ou profiláticos, que venham a somar e aumentar a durabilidade natural, permitindo uma utilização mais assertiva e o prolongamento da vida útil das madeiras de teca, principalmente para àquelas provenientes de curtas rotações. Como mencionado anteriormente, até mesmo para as madeiras consideradas de alta durabilidade natural, é importante adotar meios e métodos que venham a somar nessa característica, agregando valor e diversidade de aplicações.

Tabela 15. Perdas de massas e desgastes causados por térmitas subterrâneos e de madeira seca nos lenhos de teca colhidos em diferentes idades, provenientes de plantações no Brasil e na Costa Rica.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Desgaste (Notas)	Classe[1]	Referência
Brasil – Térmitas subterrâneos						
Figueirópolis d'Oeste, MT	6	*Nasutitermes sp.*	7,64	-	-	Goes (2018).
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Nasutitermes corniger*	7,51	8,80	MO	Brocco et al. (2020).
Belo Oriente, MG	$15_{(Cint.)}$	*Nasutitermes sp.*	1,28	9,76	LE	Motta et al. (2013).
	$15_{(Cmed.)}$		0,55	9,76	LE	
	$15_{(Cext.)}$		0,43	9,56	LE	
	$15_{(Alb.)}$		26,73	0,78	FA	
Cáceres, MT	15-18	*Nasutitermes corniger*	4,87	7,00	MO	Brito (2017).
Cáceres, MT	17	*Nasutitermes sp.*	0,61	-	-	Goes (2018).
Belo Oriente, MG	20	*Nasutitermes corniger*	1,16	9,72	LE	Brocco et al. (2020).

Continua . . .

Tabela 15. Continuação.

Local	Idade (anos)	Espécie	Perda de massa (%)	Desgaste (Notas)	Classe[1]	Referência
Brasil – Térmitas subterrâneos						
Indiavaí, MT	34	*Nasutitermes sp.*	1,35	-	-	Goes (2018).
NI	$NI_{(Cint.)}$	*Nasutitermes corniger*	1,10	8,00	MO	Paes et al. (2015a).
	$NI_{(Cmed.)}$		3,24	6,52	INT	
	$NI_{(Cext.)}$		2,67	7,44	MO	
	$NI_{(Alb.)}$		6,16	5,08	INT	
NI	$NI_{(Cint.)}$	*Nasutitermes corniger*	11,76	10,00	SA	Paes et al. (2016).
	$NI_{(Cmed.)}$		11,97	10,00	SA	
	$NI_{(Cext.)}$		12,52	10,00	SA	
	$NI_{(Alb.)}$		17,96	7,92	MO	
Brasil – Térmitas de madeira seca						
Guarapari, ES	$6\text{-}7_{(Alb.)}$	*Cryptotermes brevis*	0,93	2,44	MO	Paes et al. (2015b).
	$6\text{-}7_{(Cext.)}$		0,69	2,08	MO	
	$6\text{-}7_{(Cint.)}$		0,24	0,86	MIN	
Sooretama, ES	$10_{(Alb.)}$	*Cryptotermes brevis*	1,15	2,08	MO	Brocco et al. (2020).
Cáceres, MT	15-18	*Cryptotermes brevis*	0,67	2,00	MO	Brito (2017).
Belo Oriente, MG	20	*Cryptotermes brevis*	0,08	0,32	MIN	Brocco et al. (2020).
Outros Países – Térmitas de madeira seca						
Huetar Atlántica, Costa Rica	NI $AF_{(Alb.)}$	*Cryptotermes brevis*	1,39	7,00	MO	Jiménez e Acuña (2007).
	NI $AF_{(Cer.)}$		0,79	7,00	MO	
	NI $BF_{(Alb.)}$		1,04	7,00	MO	
	NI $BF_{(Cer.)}$		0,69	9,00	MIN	
Pacífico Central, Costa Rica	NI $AF_{(Alb.)}$	*Cryptotermes brevis*	0,39	7,00	MO	Jiménez e Acuña (2007).
	NI $AF_{(Cer.)}$		0,99	7,00	MO	
	NI $BF_{(Alb.)}$		1,18	7,00	MO	
	NI $BF_{(Cer.)}$		1,08	9,00	MÍN	

[1] Classificação realizada pelos autores conforme IPT (1980) e norma ASTM D-3345 (2008). MO: ataque moderado, LE: ataque leve, FA: falhas, INT: ataque intenso, SA: ataque sadio, MIN: ataque mínimo. Alb.: alburno; Cext.: cerne externo; Cer.: cerne; Cint.: cerne interno; Cmed.: cerne mediano. NI: não informado. AF: alta fertilidade; BF: baixa fertilidade.

Fatores de variabilidade da madeira de teca

A teca exibe variações significativas nas características de qualidade da madeira, sendo maiores no interior das árvores que entre árvores ou populações, e este aspecto precisa ser considerado no melhoramento genético da espécie. As propriedades da madeira são afetadas pelos genótipos, pelos tratos silviculturais e regimes de manejo, pelas condições edafoclimáticas, pelas idades e pelas interações genótipos por ambientes (Thulasidas; Baillères, 2017). Logo, estímulos nas árvores provocados pelo meio onde elas se desenvolvem, irão refletir em variações nas propriedades da madeira.

Material genético

Existe uma variabilidade marcante nas propriedades das madeiras de teca de rápido crescimento, provenientes de vários locais de plantio nas regiões tropicais, com diferenças perceptíveis no genótipo, nas condições de cultivo e nas práticas silviculturais. A utilização de vários materiais genéticos de teca em idade de desbaste e de curta rotação, com qualidade questionável em alguns casos, aumenta a preocupação do setor com o seu desempenho técnico, comparado ao padrão de qualidade renomado da madeira oriunda de plantações de longa rotação ou de florestas nativas de teca (Thulasidas; Baillères, 2017).

Para genótipos clonais e seminais de teca, plantados em Figueirópolis d'Oeste, MT (seis anos) e Lambari d'Oeste, MT (sete anos), foram observadas maiores resistências a danos das copas por ventos nas árvores seminais em relação às clonais. Essa diferença quanto à resistência pode ter decorrido pelo fato de o material clonal ter sido melhorado geneticamente para o rápido crescimento, resultando em indivíduos mais esbeltos (maior altura e menor DAP), que são mais susceptíveis aos danos causados por ventos fortes (Gava, 2015).

Os fatores genéticos influenciam nas propriedades da madeira de teca. Em procedências (13 da Indonésia, 3 da Índia, 3 do Vietnã, 1 da Tailândia e 1 de Mianmar) foram observadas variações quanto às dimensões das árvores e às propriedades mecânicas da madeira (Hydayati et al., 2013). Variações na densidade (entre 0,552-0,656 g cm^{-3}) e no comprimento das fibras da madeira (entre 1,25-1,84 mm) são evidentes em função das procedências de teca, presentes no banco de germoplasma nacional da Índia (Meena; Nimkar, 2016). Foram também observadas variações nos teores de extrativos solúveis em água fria (entre 6,34-16,43%), em água quente (entre 8,34-19,56%) e em álcool benzeno (entre 7,13-17,64%) e nos teores de lignina (entre 20,83-39,00%) e holocelulose (entre 64,20-76,53%) da madeira.

Clones de teca com idades entre 30-31 anos, plantados na Índia e categorizados pelo índice de crescimento das árvores em: altos, médios e baixos, apresentaram diferentes propriedades anatômicas e físicas da madeira. Tais variações são importantes e devem ser consideradas em programas de melhoramento genético da espécie (Shukla et al., 2011). No Brasil, diferentes materiais clonais de teca, com nove anos de idade, plantados no estado do Mato Grosso, apresentaram variações nas proporções de cerne e alburno, nas densidades básica e aparente e nas morfologias de vasos e de fibras. As constituições químicas das madeiras também variaram entre os clones, diferindo nos teores de extrativos, de lignina e de holocelulose, bem como nas propriedades mecânicas de compressão perpendicular às fibras e no MOE do ensaio de flexão estática (Queiroz, 2018).

Há evidências de que as madeiras de teca de pequenas dimensões colhidas em plantações de diferentes partes do mundo não são inferiores àquelas madeiras de teca de origens naturais e de mesma idade, em termos de densidade, resistência mecânica e estabilidade dimensional (Thulasidas; Baillères, 2017). Assim, combinar as procedências mais adaptadas às condições ambientais do local de cultivo (correspondência do sítio) com os requisitos do produto a ser obtido a partir da madeira são cruciais em programas de melhoramento da espécie.

Lenho juvenil e lenho adulto

Ao longo do período de desenvolvimento das árvores, as propriedades da madeira de teca passam por alterações a cada ano de crescimento. Nos primeiros anos, é produzido o lenho juvenil, caracterizado por maior variabilidade das propriedades físicas e anatômicas e, também, por apresentar menores valores de resistência, de densidade e de proporções de lenho tardio, paredes celulares mais delgadas e maiores ângulos microfibrilares e contração longitudinal (Patten et al., 2010). Os períodos de transição entre o lenho juvenil e o lenho adulto em madeiras de teca variam entre 10-25 anos (Bhat et al., 2001; Darmawan et al., 2015), de acordo com o genótipo e com o local de crescimento. Durante o período de transição, as características tecnológicas da madeira são gradativamente alteradas, até se tornarem relativamente constantes.

O lenho juvenil está presente ao longo de toda a altura da árvore, representando a região central dela, em formato cilíndrico, teoricamente. É produzido na região ativa da copa da árvore e associado à prolongada influência do meristema apical no câmbio vascular. Com o crescimento, o câmbio próximo à base da árvore se torna menos influenciável pelo meristema e começa a produzir o lenho adulto (Evert, 2007).

Árvores de teca, com 18 anos de idade, plantadas no estado do Mato Grosso, apresentaram aumento de densidade básica no sentido medula-casca (0,544-0,642 g cm^{-3}). Tal comportamento corrobora com os valores de contração tangencial, longitudinal e volumétrica apresentadas, que tendem a diminuir no mesmo sentido (Bonduelle et al., 2015), sendo indicativo do processo de maturação do lenho. Todavia, destaca-se que, para a teca plantada no Brasil, ainda não se tem publicado o conhecimento da idade e da distância radial em que ocorre a transição do lenho juvenil para o adulto. Esse mesmo fato ocorre para as espécies de eucalipto cultivadas no País. Para a teca no Brasil, tem sido considerada a idade de transição do lenho juvenil e do adulto determinada nas plantações de longa rotação da Índia, apesar da variabilidade inerente à formação desses lenhos. Há ainda poucas pesquisas a respeito da região de transição entre o lenho juvenil e o adulto, em virtude das inúmeras variáveis que dificultam a determinação precisa da idade ou região do diâmetro em que ocorrem esse fenômeno, bem como pela escassez de plantações comerciais de teca em idades avançadas, em diferentes localidades do Brasil (Silva et al., 2020).

Tratos silviculturais

Em florestas plantadas, com foco na produção de madeira serrada, várias são as técnicas silviculturais que devem ser observadas, tais como o espaçamento e arranjo de plantio, as adubações, as desramas, os desbastes, dentre outras. Estes tratos, quando aplicados no momento e de maneira adequada, promovem variações nas dimensões das árvores e, consequentemente, nas propriedades das madeiras. Uma vez que eles possuem custos significativos, as suas execuções devem ser bem planejadas e realizadas, visando agregar valor à floresta e à qualidade da madeira.

Espaçamentos de plantio

Uma elevada densidade de plantio pode conduzir a um rápido crescimento em altura das espécies florestais, elevando o incremento total, porém com pouco valor agregado à madeira, ao passo que povoamentos menos adensados podem possuir incrementos menores, mas com maiores valores agregados (Schneider; Schneider, 2008). Alguns estudos a respeito dos efeitos dos espaçamentos de plantio nos incrementos em diâmetro apontam para a seguinte tendência: quanto maior a área útil por árvore, maior o incremento diamétrico (Oliveira et al., 2009; Amodei, 2011).

Plantações homogêneas de teca, com densidades entre 600-1.000 árvores ha^{-1}, são mais recomendadas para atingir um balanço ótimo de produção, maximizando o crescimento inicial e promovendo rápida competição entre árvores, o que favorece o crescimento em altura. Densidades acima de 1.000 árvores ha^{-1} necessitam de maiores intervenções de desbastes para manutenção da área basal abaixo de 20 m^2 ha^{-1}, ou seja, sem competição entre as árvores. Plantios com densidades abaixo de 400 árvores ha^{-1} apresentam crescimentos maiores em diâmetro, porém diminuem o crescimento em altura e, consequentemente, aumentam a incidência de galhos e nós nas árvores, diminuindo a qualidade da madeira (Pachas et al., 2019).

A teca plantada no Brasil, em maiores espaçamentos, apresenta aumento na densidade da madeira, no módulo de elasticidade dinâmico, no comprimento e espessura da parede das fibras e redução na frequência dos vasos e na contração volumétrica (Roque; Ledezma, 2003; Lima et al., 2009, 2011b; Silva, 2010; Souza, 2010). Entretanto, em outros países, as características de crescimento das árvores de teca foram significativamente influenciadas (maiores médias de diâmetros e de números de galhos e, menores médias de alturas), enquanto as propriedades físico-mecânicas não foram alteradas pelos espaçamentos (Wahyudi et al., 2014; Zahabu et al., 2015).

As madeiras de teca, aos onze anos de idade, provenientes de plantação em Cáceres, MT, em espaçamentos de plantio de 4 m x 2 m, 5 m x 2 m e 6 m x 2 m, apresentaram diferenças significativas de densidade básica com a área útil dos espaçamentos de 4 m x 2 m e 5 m x 2 m. As madeiras provenientes do espaçamento de 6 m x 2 m tiveram valores de densidade da madeira semelhantes aos demais espaçamentos. As contrações lineares e volumétricas da madeira não foram alteradas pelas áreas úteis dos três espaçamentos de plantio, sendo as estabilidades dimensionais das madeiras consideradas excelentes (Avelino, 2012).

As madeiras de teca, em idade mais avançada (32 anos), colhidas em Pederneiras, SP, nos espaçamentos de 3 m x 1,5 m, 3 m x 2 m e 3 m x 2,5 m, não apresentaram alterações significativas nos valores de densidade aparente, com a mudança da área útil das árvores. Esse resultado pode ter ocorrido em razão das densidades populacionais serem muito próximas entre os espaçamentos: 2.222 árvores ha^{-1}, 1.666 árvores ha^{-1} e 1333 árvores ha^{-1}, respectivamente, com intensidades de competições entre as árvores, ainda incapazes de alterar a formação do lenho de cada árvore (Lima et al., 2011b).

A diminuição da área útil por árvore, em diferentes espaçamentos, em Cáceres, MT, de 12 m^2 $árvore^{-1}$ para 10 m^2 $árvore^{-1}$ possibilitou o decréscimo de 5% nos valores de compressão

paralela às fibras e na dureza axial da madeira de teca, aos onze anos de idade e, ainda, a diminuição de 10 m^2 $árvore^{-1}$ para 8 m^2 $árvore^{-1}$ proporcionou decréscimo de 8,5% para as mesmas propriedades (Avelino, 2012). Já para a idade de 32 anos, as madeiras de teca oriundas de plantações no estado de São Paulo não apresentaram padrões de acréscimos ou diminuições nos valores das propriedades mecânicas, em relação às diminuições das áreas úteis por árvore. No entanto, percebe-se que todas as propriedades mecânicas apresentaram valores superiores aqueles da madeira de Cáceres, MT, possivelmente por dois fatores: idade superior e menores espaçamentos (Lima et al., 2011b). Materiais plantados na Tanzânia, aos 14 anos de idade, apresentaram incrementos das propriedades mecânicas da madeira com o aumento das áreas úteis por árvore.

Incrementos nos valores de densidade das madeiras de teca em espaçamentos com maiores áreas úteis entre árvores foram observados em plantações no estado do Pará. As estimativas de densidade das madeiras de dois clones de teca, implantados nos espaçamentos de 4 m x 3 m e 4 m x 4 m, foram iguais a 0,531 g cm^{-3} e 0,558 g cm^{-3} para o clone 1 e 0,493 g cm^{-3} e 0,569 g cm^{-3} para o clone 2, respectivamente. Nesse mesmo sítio, as madeiras oriundas de materiais seminais implantados nos espaçamentos de 4 m x 3,5 m e 4 m x 4 m apresentaram valores de densidade de 0,521 g cm^{-3} e 0,558 g cm^{-3}, respectivamente (NPQM/UFRRJ, 2020)*[8].

Adubação

A fertilidade do solo influencia no crescimento da teca devido à estreita relação dos nutrientes com os processos metabólicos das árvores. Atributos químicos do solo apresentam elevadas correlações com o desenvolvimento da teca, nas idades entre 2-10 anos, onde cálcio, potássio e magnésio apresentam correlação positiva com o DAP, com a área basal e com a altura das árvores (Pelissari, 2012).

As árvores de plantações de teca, localizadas na Costa Rica, em duas condições climáticas (TWF: precipitação pluviométrica média anual de 4.000 mm e temperatura média anual entre 25-30 ºC e TMF: precipitação pluviométrica média anual de 3.630 mm e temperatura média anual entre 27-32 ºC), dois tipos de fertilidade do solo (alta e baixa) e idade de onze anos, apresentaram maiores taxas médias de crescimento e porcentagens de cerne e de casca no ambiente mais úmido. O valor médio de densidade da madeira foi maior no solo mais fértil dentro do ambiente mais úmido. Além disso, a maior fertilidade do solo contribuiu com o incremento da resistência mecânica da madeira de teca (Montero et al., 2015).

[8]Dados não publicados - Pesquisa do Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira (NPQM) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

A densidade básica de madeiras de espécies com porosidade em anel, como a teca, tende a aumentar levemente com a adubação. Entretanto, estudos que investigaram a relação vasos/fibras não demostraram mudanças nessa relação, com a aplicação de fertilização apenas, pequeno aumento na proporção do volume ocupado pelos vasos, por causa da tendência do rápido crescimento de estimular vasos com maiores diâmetros. O comprimento das fibras não foi alterado ou demonstrou pequeno incremento com a adubação (Shmulsky; Jones, 2011).

Com a execução das adubações, há a necessidade de maiores intervenções de desramas nas árvores, visto que as adubações contribuem para um incremento do número de galhos e acréscimo das copas. A adoção de tais práticas associadas contribui para uma melhoria da qualidade da madeira (Shmulsky; Jones, 2011).

A fertilização afetou algumas propriedades da madeira de teca plantada em Nilambur, no quinto ano de crescimento, após a segunda aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). Na comparação com o tratamento controle (sem fertilização), houve o aumento nos valores da espessura dos anéis de crescimento de 2,8 mm para 6,0 mm, da densidade básica de 0,444 g cm^{-3} para 0,478 g cm^{-3}, do comprimento dos elementos de vasos de 0,27 mm para 0,30 mm e na proporção de fibras de 63,5% para 66,9%. Outras variáveis como diâmetro dos vasos, proporção de parênquima e espessura da parede das fibras não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Bhat; Indira, 1997).

A proporção de cerne, uma característica que confere melhor qualidade à madeira de teca, se relaciona diretamente com a fertilidade do solo. Ou seja, as dimensões do cerne são favorecidas pela maior fertilidade do solo e aumentam com a taxa de crescimento em diâmetro, sendo possível produzir árvores com maior diâmetro e proporção de cerne (Moya; Pérez, 2008).

Desbaste e Desrama

O objetivo do desbaste é fornecer as melhores condições de crescimento às árvores remanescentes, ao diminuir a competição por água, luz e nutrientes, para que, ao final do ciclo de produção, sejam obtidos indivíduos de melhor qualidade. Os critérios para a adoção do desbaste dependem da qualidade do sítio onde as árvores estão plantadas, podendo utilizar como referência a taxa de crescimento anual, o fechamento do dossel, dentre outros (Ugalde Arias, 2013). No Brasil, o manejo da teca consiste na realização de três a quatro desbastes até que as árvores superiores remanescentes alcancem as dimensões desejadas

na idade de corte final da floresta, entre 16-25 anos (Coutinho, 2013), sendo almejadas pelas empresas e mercado as idades de rotações acima de 30 anos.

Por melhorar as condições de crescimento das árvores, o desbaste pode afetar algumas propriedades da madeira. Quando realizado nos primeiros anos de desenvolvimento da árvore, ele pode causar a extensão do período juvenil. Como consequência é produzida madeira de menor densidade e resistência, fibras mais curtas, maiores proporções de lignina e aumento no tamanho e frequência dos nós (Shmulsky; Jones, 2011).

No entanto, alguns estudos não apontam essa tendência para a madeira de teca. Diferentes intensidades de desbastes realizadas nos primeiros anos de crescimento (4 e 6 anos) e avaliadas aos oito anos de idade na Costa Rica não apresentaram relação com a densidade da madeira e com a porcentagem de cerne e alburno. Assim, nos primeiros anos de crescimento, a teca, quando plantada em região tropical úmida, pode ser manejada, buscando-se maiores taxas de crescimento para as árvores remanescentes, sem afetar propriedades que conferem qualidade à madeira (Pérez; Kanninen, 2005). Esse mesmo comportamento foi observado para árvores de teca, com dez e onze anos de idade, oriundas do Togo e submetidas a desbaste seletivo de 50%, aos sete anos de idade. Após o desbaste, houve o aumento do crescimento radial e não foram observadas diferenças nos valores de densidade básica da madeira, quando comparada aqueles valores de área não desbastada (Tondjo et al., 2015).

Árvores de teca apresentam, como característica típica, a desrama natural. No entanto, a exigência por maiores espaçamentos para produção de madeira de qualidade faz com que sejam emitidas quantidades significativas de galhos. Logo, a adoção de desrama artificial se faz necessária para garantir a produção de madeira limpa, sem nós (Figueiredo; Sá, 2015). Dentre os benefícios da desrama estão: a melhoria da forma das árvores, o estímulo/concentração do crescimento apical, a melhoria na qualidade da madeira pela redução da quantidade de nós e a facilidade do controle de pragas e doenças (Ugalde Arias; Flores, 2006).

A intensidade, a altura e a frequência da desrama influenciam no crescimento das árvores e nas propriedades da madeira de teca. Resultados experimentais obtidos em plantações de teca na Costa Rica, submetidas a diferentes alturas de desrama, aos 2,2 anos de idade, apontam essas variações. A desrama realizada até 3 m de altura, como primeira intervenção, contribuiu para a formação de árvores com maior incremento individual e percentagem de cerne, quando comparada à desrama realizada em maior altura da árvore ou não realizada (Víquez; Pérez, 2005).

Taxa de crescimento

Ao se discorrer sobre a situação atual do mercado global de madeira de teca, as plantações florestais se mostram como as grandes provedoras de madeira dessa espécie. Situação garantida, pois as áreas naturais de extrativismo da teca estão reduzindo, sendo a maior parte da madeira comercializada no mercado internacional proveniente de plantações florestais. Em geral, tem-se o pensamento de que as madeiras de plantações mais antigas, com menores taxas de crescimento, apresentam melhores qualidades em relação àquelas de plantações mais jovens, ditas como de rápido crescimento, apresentando menor densidade e resistência mecânica (Thulasidas; Baillères, 2017). No entanto, estudos têm demonstrado que árvores de teca de rápido crescimento não formam, necessariamente, madeira de qualidade inferior (Anish et al., 2015).

Os elementos químicos e as células do lenho são desenvolvidos em função das condições de crescimento disponíveis às árvores. Essas condições influenciam, por exemplo, na espessura dos anéis de crescimento, na proporção de lenho inicial e tardio e, consequentemente, na densidade da madeira. Em plantações florestais, tais condições podem ser garantidas pela execução adequada de técnicas silviculturais, tais como: espaçamento, adubação, desrama, desbaste entre outros (Wiedenhoeft, 2010).

Árvores de teca, oriundas de 14 localidades da Ásia, da América do Norte e da África, categorizadas como de rápido e lento crescimento, de acordo com a espessura dos anéis de crescimento, apresentaram diferenças em algumas propriedades da madeira. As árvores de rápido crescimento apresentaram maiores valores de densidade e de contração radial e tangencial da madeira, enquanto aquelas árvores de lento crescimento apresentaram maiores diâmetros e áreas dos vasos, alturas e larguras dos raios e teores de extrativos. No entanto, elas não diferiram quanto à porcentagem, à coloração de cerne e à frequência de vasos e raios. Logo, as altas taxas de crescimento não influenciaram negativamente nas principais propriedades que conferem qualidade à madeira de teca (Anish et al., 2015).

Porém, é relatado que a proporção de cerne na madeira de teca aumenta com o crescimento em diâmetro e diminui com o crescimento em altura, portanto, sendo afetado pela idade e diâmetro das árvores, condições de crescimento e práticas silviculturais (Moya et al., 2014; Thulasidas; Baillères, 2017).

Considerações finais

A forma do fuste das árvores de teca geralmente apresenta bom estado qualitativo, exceto na base, pela presença de pequenas sapopemas e por algumas alterações observadas em consórcio com espécie agrícola, espaçamentos menos adensados e pelo incremento da conicidade com a idade e o diâmetro. A proporção e a espessura de casca das árvores de teca são influenciadas pelas suas dimensões, pelo material genético, pelo local de crescimento, pela idade e pelo manejo adotado na plantação. A forma do fuste e a proporção de casca precisam ser consideradas na seleção de indivíduos com menor quantidade de casca e que produzam toras de melhor classificação e que concentrem mais energia no incremento diamétrico para diferentes locais de crescimento.

As proporções de cerne e de alburno em árvores de teca apresentam variações dependendo do material genético, idade e local de crescimento. Na longa rotação (acima dos 30 anos), o incremento da proporção de cerne reduz com o avançar da idade, fato explicado pela pequena variação diamétrica em idades adultas. No geral, as propriedades da madeira do cerne e do alburno também são alteradas pelos mesmos fatores que a sua proporção, mas o teor de extrativos, de lignina total, a claridade (L*), a matiz do eixo verde-vermelho (a*) e a resistência biológica aos fungos e cupins possuem comportamento padrão que marcam as diferenças entre esses lenhos.

A madeira de teca apresenta propriedades adequadas e almejadas para diversas aplicações, sendo observadas algumas variações em seus valores e, consequentemente, na sua qualidade, ao considerar as diferenças de material genético, idade, local de crescimento e manejos adotados na plantação. Variações estas que nem sempre são negativas, mas que necessitam de controle, de métodos, de tecnologias e de conhecimento dos profissionais que trabalham com a madeira. Por isso, é importante agregar valor à madeira de teca plantada e de curtas rotações, melhorando a qualidade da madeira por meio de seleção genética, adequados procedimentos silviculturais e uso de técnicas de beneficiamento apropriadas a cada caso.

As madeiras de teca provenientes das plantações brasileiras apresentam algumas particularidades em relação às madeiras de teca plantadas em outros países. Em geral, as madeiras deteca brasileiras apresentam menores percentagens de cerne, fibras menores com paredes mais espessas, vasos com menores dimensões e mais frequentes, raios mais finos, menores teores de extrativos e holoceluloses e maior percentagem de lignina.

Em geral, estas características são ocasionadas, principalmente, pelas diferenças nos genótipos, nas idades e nos manejos silviculturais aplicados aos povoamentos, visto que as plantações no Brasil foram avaliadas, em sua maioria, em idades jovens.

Em geral, a madeira de teca apresenta ótima qualidade para o seu uso como produto sólido, no entanto, em alguns casos, suas propriedades podem ser questionáveis quando oriunda de plantações muito jovens (menores que dez anos), evidenciando a necessidade de maior atenção para a viabilidade técnica e econômica e com a adequação e direcionamento da utilização do material em idades jovens.

Referências

AHMED, S. A.; CHUN, S. K. Permeability of *Tectona grandis* L. f. as affected by wood structure. **Wood Science Technology**, v. 45, p. 487-500, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s00226-010-0335-5.

ALBUQUERQUE, A. E.; CASTRO, V. R.; LOBÃO, M. S.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; GUEDES, F. T. P. Comparative analysis of anatomy and micro-densitometry of the growth rings of hardwoods and conifers, with emphasis on dendrochronology. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 595-640, 2016. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v44n111.06.

AMARAL, L. G. C**. Modelagem do afilamento de fuste com casca, sem casca, cerne e medula de *Tectona grandis* L. f. (teca) na otimização de multiprodutos**. 2014. 41 f. Projeto de pesquisa (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **D-2017**: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standard, 2005. 5 p.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **D-3345**: laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. West Conshohocken, 2008.

AMOAH, M.; INYONG, S. Comparison of some physical, mechanical, and anatomical properties of smallholder plantation teak (*Tectona grandis* Linn. f.) from dry and wet localities of Ghana. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 16, n. 2, p. 125-138, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s13196-019-00248-7.

AMODEI, J. B. **Avaliação da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. por meio de análises tomográfica, microdensitométrica e anatômica**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

AMUSA, T. O.; ADEDAPO, S. M. Growth and yield characteristics of *Tectona grandis* (Linn. f.) in different age series at University of Ilorin, North Central Nigeria. **Forestist**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2020. DOI: https://doi.org/10.5152/forestist.2020.20022.

ANDA, R. R.; KOCH, G.; RICHTER, H.; TALAVERA, F. J. F.; GUZMÁN, J. A. S.; SATYANARAYANA, K. G. Formation of heartwood, chemical composition of extractives and natural durability of plantation grown teak wood from Mexico. **Holzforschung**, v. 73, n. 6, p. 547-557, 2019. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2018-0109/html.

ANISH, M. C.; ANOOP, E. V.; VISHNU, R.; SREEJITH, B.; JIJEESH, C. M. Effect of growth rate on wood quality of teak (*Tectona grandis* L. f.): a comparative study of teak grown under differing site quality conditions. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 12, n. 1, p. 81-88, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s13196-015-0147-1.

ANTONIO, R. T.; LUNA, J. A. N.; RODRÍGUEZ, E. A.; CALDERÓN, O. A. A.; PÉREZ, J. J.; CÁRDENAS, M. G.; FLORES, H. J. M. Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales,** v. 8, n. 40, p. 37-56, 2017. DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.35.

ARCE, N.; MOYA, R. Wood characterization of adult clones of *Tectona grandis* growing in Costa Rica. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 353-362, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201521031751.

AVELINO, E. F. **Avaliação da madeira de teca jovem (*Tectona grandis* L. f.) visando uso em movelaria**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

BÁRCENAS, G. **Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional**. Xalapa, México: Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA). 1985. 18 p.

BARROS, S. V.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201420031421.

BENEDETTI, V. **Caracterização da madeira de teca plantada em diferentes idades e regiões para produção de piso**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

BERROCAL, A.; GAITAN-ALVAREZ, J.; MOYA, R.; FERNÁNDEZ-SÓLIS, D.; ORTIZ-MALAVASSI, E. Development of heartwood, sapwood, bark, pith, and specific gravity of teak (*Tectona grandis*) in fast-growing plantations in Costa Rica. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 2, p. 667-676, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-018-0849-5.

BETANCUR, C. A.; HERRERA, J. F.; MEJÍA, L. C. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis* L. f.) de Puerto Libertador (Córdoba). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 53, n. 1, p. 913-939, 2000.

BHAT, K. M. A note on heartwood proportion and wood density of 8-year-old teak. **The Indian Forester**, v. 121, n. 6, p. 514-517, 1995.

BHAT, K. M.; FLORENCE, E. J. M. Natural decay resistance of juvenile teak wood grown in high input plantations. **Holzforschung**, v. 57, n. 5, p. 453-455, 2003. DOI: https://doi.org/10.1515/HF.2003.067.

BHAT, K. M.; INDIRA, E. P. **Effect of faster growth on timber quality of teak**. Peechi: Kerala Forest Research Institute, 1997. 68 p.

BHAT, K. M. Properties of fast-grown teakwood: impact on end-user's requirements. **Journal of Tropical Forest Products**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 1998.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat region in India. **IAWA Journal**, v. 25, n. 3, p. 273-282, 2004. DOI: https://doi.org/10.1163/22941932-90000365.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterisation of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 6, p. 517-532, 2001. DOI: https://doi.org/10.1007/s002260000067.pdf.

BHAT, K. M.; THULASIDAS, P. K.; FLORENCE, E. J. M.; JAYARAMAN, K. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. **Trees**, v. 19, p. 654-660, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s00468-005-0429-0.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G.; ROCHA, V. Y. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 671-680, 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v45i4.31991.

BRITO, T. M. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira juvenil de *Eucalyptus grandis* W. Hill e *Tectona grandis* L. f**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

BROCCO, V. F. **Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para proteção da madeira a organismos xilófagos**. 2019. 91 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

BROCCO, V. F.; PAES, J. B.; COSTA, L. G.; BRAZOLIN, S; ARANTES, M. D. C. Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. **Journal of Cleaner Production,** v. 142, n. 4, p. 2.093-2.099, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.074.

BROCCO, V. F.; PAES, J. B.; COSTA, L. G.; KIRKER, G. T.; BRAZOLIN, S. Wood color changes and termiticidal properties of teak heartwood extract used as a wood preservative. **Holzforschung**, v. 74, n. 3, p. 233-245, 2020. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2019-0138.

BROCCO, V. F. **Potencialidades dos extrativos do cerne da madeira de teca como preservativo natural e sua influência na cor de madeiras claras**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

BROCHINI, G. G. **Biodeterioração de madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) submetida ao ataque de fungos lignocelulolíticos**. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo, SP: Nobel, 1991. 154 p.

CÂMARA, A. P. C.; ROCHA, S. M. G.; OLIVEIRA, J. C. L.; SILVA, J. G. M.; ANDRADE, J. K. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S. Metodologias de determinação da área de cerne e circularidade de teca consorciada com café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, 2017, Florianópolis. **Anais** [...]. Campinas, SP: Galoá. 2017. Disponível em: https://proceedings.science/cbctem/papers/metodologias-de-determinacao-da-area-de-cerne-e-circularidade-de-teca-consorciada-com-cafe. Acesso em: 16 jul. 2021.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p. 30-41, 2001.

CANAL, W. D. **Efeito da idade e da posição radial nas propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira de *Tectona grandis***. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARDOSO, S.; SOUSA, V.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Variabilidade anatómica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 6, 2009, Ponta Delgada. **Anais** [...]. Ponta Delgada: Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. 2009. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.5/1713. Acesso: 10 jun. 2020.

CARNEIRO, M. F.; ALBUQUERQUE, W. W.; SOUZA, C. O.; CÂMARA, A. P.; SILVA, J. G. M.; GALVÃO, E. K. S. Crescimento radial e fator de forma artificial de árvores de teca em Alta Floresta do Oeste, Rondônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-7, 2018.

CASTRO, F.; RAIGOSA, J. Crecimiento y propiedades fisico-mecanicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, v. 24, n. 2, p. 7-23, 2000.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L. f.)**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; MACEDO, A. M.; CARVALHO, L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Revista Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 138-150, 2014. DOI: https://doi.org/10.12953/2177-6830.v05n02a08.

CHAGAS, S. F. **Propriedades da madeira de *Tectona grandis* (L. f.), visando a sua utilização para peças preservadas**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CHOW, P.; LUCAS, E. B. Fuel characteristics of selected four-year-old trees in Nigeria. **Wood and Fiber Science**, v. 20, n. 4, p. 431-437, 1988.

COSTA, K. L. **Crescimento de *Tectona grandis* (teca) em sistema silvicultural de talhadia composta em Minas Gerais**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COUTINHO, S. A. Cultivo e mercado da teca. **Revista opiniões**, v. 14, n. 48, p. 48-49, 2013. https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/18-cultivo-e-mercado-da-teca/. Acesso em: 10 set. 2020.

CREMONEZ, V. G.; KLITZKE, R. J.; SILVA, E. J.; MUÑIZ, G. I. B.; NIGOSKI, S. Influence of age on the discrimination of *Tectona grandis* by VIS/NIR spectroscopy. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170159, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.015917.

DARMAWAN, W.; NANDIKA, D.; KARTIKASARI, R.; SITOMPUL, A.; RAHAYU, I.; GARDNER, D. Juvenile, and mature wood characteristics of short and long rotation teak in Java. **IAWA Journal**, v. 36, n. 4, p. 429-443, 2015. DOI: https://doi.org/10.1163/22941932-20150112.

DATTA, S. K.; KUMAR, A. Histochemical studies of the transition from sapwood to heartwood in *Tectona grandis*. **IAWA Bulletin**, v. 8, n. 4, p. 363-368, 1987.

DERKYI, N. S. A.; BAILLERES, H.; CHAIX, G.; THEVENON, M. F.; OTENG-AMOAKO, A. A.; ADU-BREDU, S. Colour variation in teak (*Tectona grandis*) wood from plantations across the ecological zones of Ghana. **Ghana Journal of Forestry**, v. 25, p. 40-49, 2009. DOI: https://doi.org/10.4314/gjf.v25i1.60698.

DIAS, A. C. C.; MARCHESAN, R.; ALMEIDA, V. C.; MONTEIRO, T. C.; MORAES, C. B. Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 1, p. 37-44, 2018.

EVERT, R. F. **Esau's Plant anatomy**: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development. New Jersey: John Wiley and Sons, 2007. 601 p.

FIGUEIREDO, E. O.; SÁ, C. P. **Silvicultura e manejo de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2015. 130 p. (Embrapa Acre. Documentos, 138). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142552/1/25987.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. **Estimativa do percentual de casca e do fator de forma em povoamentos jovens de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. 5 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 165). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC-2010/20158/1/comunicado165.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

FLÓREZ, J. B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f)**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. B. Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 124-134, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.035313.

GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros Eucalyptus e Corymbia e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201420041316.

GAVA, F. H. **Danos na copa**: crescimento, produção e desbaste em povoamentos clonais e seminais de teca em duas regiões de Mato Grosso. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

GIL, J. L. R. A.; BARBOZA, F. S.; CONEGLIAN, A.; SETTE JÚNIOR, C. R.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A. Características físicas e anatômicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 529-538, 2018. DOI: https://doi.org/10.19084/RCA17149.

GOES, L. S. A. **Resistência da madeira de teca de diferentes idades submetida ao ataque de cupins xilófagos**. 2018. 33 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

GONÇALVES, M. P. M.; COFFLER, R.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L. f. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 70-75, 2007.

GUTIÉRREZ, R. C.; ROMERO, E. J.; CUNUHAY, P. S.; BLANCO, G. L.; FONSECA, C. S. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de Quevedo y Balzar. **Ciencia y Tecnología**, v. 1, n. 2, p. 55-63, 2008. DOI: https://doi.org/10.18779/cyt.v1i2.74.

HIDAYATI, F.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; MAKINO, K.; MARSOEM, S. N.; YOKOTA, S. Among-clone variations of anatomical characteristics and wood properties in *Tectona grandis* planted in Indonesia. **Wood and Fiber Science**, v. 46, n. 3, p. 385-393, 2014.

HOPEWELL, G.; BAILLERES, H.; FEHRMANN, J.; FEHR, C.; FRANCIS, L; REDMAN, A.; VELLA, R. **Selected wood properties and potential uses for plantation teak and poumuli**. Queensland: Department of Employment, Economic Development, and Innovation, 2011. 35 p.

HOUNLONON, M. C.; KOUCHADE, C. A.; KOUNOUHEWA, B. B. Propriétés physiques et mécaniques du bois de teck de provenances tanzanienne et locale au Bénin. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 331, n. 1, p. 45-53, 2017.

HYDAYATI, F.; ISHIGURI, F.; LIZUKA, K.; MAKINO, K.; TAKASHIMA, Y.; DANARTO, S.; WINARNI, W. W.; IRAWATI, D.; NA'IEM, M.; YOKOTA, S. Variation in tree growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 24-year-old teak (*Tectona grandis*) trees originating in 21 seed provenances planted in Indonesia. **Journal of Wood Science**, v. 59, p. 512-516, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-013-1368-9.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Informações sobre madeiras**: Teca. 1997. Disponível em: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=78. Acesso em: 25 out. 2020.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes***. São Paulo, SP: IPT/ DIMAD,1980. 3 p.

ITTO. International Tropical Timber Organization. **Lesser used species**: Teca, Teak (*Tectona grandis*). 2020. Disponível em: http://www.tropicaltimber.info/specie/teca-tectona-grandis/. Acesso em: 25 out. 2020.

IZEKOR, D. N.; FUWAPE, J. A. Variations in the anatomical characteristics of plantation grown *Tectona grandis* wood in Edo State, Nigeria. **Archives of Applied Science Research**, v. 3, n. 1, p. 83-90, 2011.

IZEKOR, D. N.; FUWAPE, J. A.; OLUYEGE, A. O. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis* wood. **Applied Scientific Research**, v. 2, n. 6, p. 113-120, 2010.

JANKAUSKIS, J. **Recuperação de florestas tropicais mecanicamente exploradas**. Belém, PA: SUDAM, 1979. 58 p.

JIMÉNEZ, A. B.; ACUÑA, L. V. R. Resistencia de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) proveniente de plantaciones forestales ante el ataque de termitas de madera seca *Cryptotermes brevis* (Walker). **Kurú: Revista Forestal**, v. 4, n. 10, p. 1-15, 2007.

JOSUE, J.; IMIYABIR, Z. **Anatomical features, quality, and mechanical properties of 15-years-old *Tectona grandis* (Teak) planted in Sabah**: ITTO project on improving utilization and value adding of plantation timbers from sustainable sources in Malaysia project no. PD 306/04 (1). Kuala Lumpur: Forest Research Institute Malaysia, 2011. 43 p.

KOKUTSE, A. D.; BAILLÈRES, H.; STOKESA, A.; KOKOU, K. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.). **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 37-48, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.041.

KOKUTSE, A. D.; STOKES, A.; KOKUTSE, N. K.; KOKOU, K. Which factors most influence heartwood distribution and radial growth in plantation teak? **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 407-417, 2010. DOI: https://doi.org/10.1051/forest/2009127.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global Teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

KOYANI, R. D.; RAJPUT, K. S. Light microscopic analysis of *Tectona grandis* L. f. wood inoculated with lrpex lacteus and *Phanerochaete chrysosporium*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, p. 157-164, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00107-013-0763-7.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, R. R. D.; MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A. M. D.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L. f. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 53-59, 2011.

LEMOS, R. **Mensuração de déficit isoperimétrico na estimação da área basal em clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2010. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

LENGOWSKI, E. C.; BONFATTI JÚNIOR, E. A.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Properties of thermally modified teakwood. **Maderas**: Ciencia e Tecnología, v. 23, p. 1-27, 2021.

LEONARDO, F. V. S. **Fatores ambientais e silviculturais na qualidade dos povoamentos e da madeira de teca**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. f. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244-250, 2009.

LIMA, I. L.; GARCIA, R.; LONGUI, E. L.; FLORSHEIN, S. M. B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. f. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 61-68, 2011a.

LIMA, I. L.; PIMENTEL, M. M.; GARCIA, J. N. Propriedades mecânicas e densidade aparente da madeira de *Tectona grandis* Linn. f. (teca) em função do espaçamento e da posição radial na tora. **Silva Lusitana**, v. 19, n. 2, p. 221-232, 2011b.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JÚNIOR, F. G.; CAMARGO NETO, L.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.

LOURENÇO, A.; NEIVA, D. M.; GOMINHO, J.; MARQUES, A. V.; PEREIRA, H. Characterization of lignin in heartwood, sapwood, and bark from *Tectona grandis* using Py–GC–MS/FID. **Wood Science and Technology**, v. 49, p. 159-175, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s00226-014-0684-6.

LUKMANDARU, G. Chemical characteristics of teak wood attacked by Neotermes tectonae. **Bioresources**, v. 10, n. 2, p. 2094-2102, 2015. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2094-2102.

LUKMANDARU, G.; ASHITANI, T.; TAKAHASHI, K. Color, and chemical characterization of partially black-streaked heartwood in teak (*Tectona grandis*). J**ournal of Forestry Research**, v. 20, n. 4, p. 377-380, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-009-0064-5.

LUKMANDARU, G.; SAYUDHA, I. G. N. D. Colour properties and extractive content in young teak woods. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF INDONESIAN WOOD RESEARCH SOCIETY, 9., 2019, Denpasar, Bali. **Proceeding** [...]. Denpasar, Bali: Indonesian Wood Research Society, 2019. p. 164-174. Disponível: https://teknologihutan.fkt.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/675/2019/09/Colour-Properties-and-Extractive-Content-in-Young-Teak-Woods.pdf. Acesso em: 15. jun. 2020.

MASCARENHAS, A. R. P. **Indicadores de qualidade ambiental e caracterização tecnológica da madeira em sistema agroflorestal multiestratificado**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura.

MAZZONI-VIVEIROS, S. C.; COSTA, C. G. Periderme. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (ed.) **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2006. p. 237-248.

MEENA, R. K.; NIMKAR, A. U. Variation in soluble extractives, lignin and holocellulose content of wood of different provenances of *Tectona grandis* L. f. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 1, p. 80-83, 2016. DOI: https://doi.org/10.31018/jans.v8i1.751.

MEIER, E. **The wood data base**: Teak. 2020. Disponível em: https://www.wood-database.com/teak/. Acesso em: 25 out. 2020.

MÉNDEZ-MEJÍAS, L. D.; MOYA, R. Effects on density, shrinking, color changing and chemical surface analysis through FTIR of *Tectona grandis* thermo-treated. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 811-820, 2016. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v44n112.03.

MENEZES, V. M. **Efeito da modificação térmica em escala industrial na qualidade da madeira de *Tectona grandis* Linn. f**. 2017. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MESQUITA, R. R. S.; GONÇALEZ, J. C.; PAULA, M. H. Comportamento da madeira de *Tectona grandis* frente ao intemperismo. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 29-35, 2017. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v47i1.38562.

MIRANDA, I.; SOUSA, V.; PEREIRA, H. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. **Journal of Wood Science**, v. 57, n. 3, p. 171-178, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-010-1164-8.

MONTERO, R. S.; MOYA, R.; BERROCAL, A.; TREJOS, G. G.; FOGLIA, R. C. General, physical, and mechanical properties, termite's resistance and drying defects of lumber of *Tectona grandis* from plantations of different climatic and sites fertility condition. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 12, p. 63-73, 2015. DOI: https://doi.org/ 10.1007/s13196-015-0145-3.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 119 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORENO, J.; MOYA, R. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn f. **Kurú**: Revista Forestal, v. 3, n. 9, p. 1-14, 2006.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; DAMBROZ, G. B. V. Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1393-1398, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000097.

MOYA, R.; BERROCAL, A. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. **Annals of Forest Science**, v. 67, p. 109-117, 2010. DOI: https://doi.org/10.1051/forest/2009088.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v. 48, p. 411-433, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00226-014-0618-3.

MOYA, R.; MARÍN, J. D. Grouping of *Tectona grandis* L. f. clones using wood color and stiffness. **New Forests**, v. 42, p. 329-345, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-011-9255-y.

MOYA, R.; MARÍN, J. D.; MURILLO, O.; LEANDRO, L. Wood physical properties, color, decay resistance and stiffness in *Tectona grandis* clones with evidence of genetic control. **Silvae Genetica**, v. 62, n. 3, p. 142-152, 2013. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2013-0019.

MOYA, R.; PÉREZ, D. Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 20, n. 4, p. 248-257, 2008.

NAGADESI, P. K.; ARYA, A.; ALBERT, S. Delignification pattern of wood decay by white rot fungi in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 10, p. 1-8, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s13196-013-0085-8.

NARAYANAN, C.; CHAWHAAN, P. H.; MANDAL, A. K. Inheritance pattern of growth and wood traits in teak (*Tectona grandis* L. f.). **Silvae Genetica**, v. 58, n. 3, p. 97-101, 2009. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2009-0013.

NENNEWITZ, I.; NUTSCH, W.; PESCHEL, P.; SEIFERT, G. **Manual de tecnologia da madeira**. São Paulo, SP: Blucher, 2008. 354 p.

OLIVEIRA, B. R. **Determinação do volume de cerne produzido em árvores de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

OLIVEIRA, L. L. M.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; PINTO, A. A. S.; QUINTILHAN, M. T.; BORGES, V. Propriedades da madeira de teca clonal e seminal provenientes de primeiro desbaste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, 2017, Florianópolis. **Anais** [...]. Campinas, SP: Galoá. 2017. Disponível em: https://proceedings.science/cbctem/papers/propriedades-da-madeira-de-teca-clonal-e-seminal-provenientes-de-primeiro-desbaste?lang=en. Acesso em: 16 jul. 2021.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 1-9, 2009. DOI: https://doi.org/10.4336/2009.pfb.60.01.

OLIVEIRA, W. C.; PEREIRA, B. L. C.; GOES, L. S. A.; QUINTILHAN, M. T.; OLIVEIRA, A. C.; MÔRA, R. Deterioration of teak wood in accelerated decay test. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170360, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.036017.

PACHAS, A. N. A.; SAKANPHET, S.; SOUKKHY, O.; LAO, M.; SAVATHVONG, S.; NEWBY, J. C.; SOULIYASACK, B.; KEOBOUALAPHA, B.; DIETERS, M. J. Initial spacing of teak (*Tectona grandis*) in northern Lao PDR: impacts on the growth of teak and companion crops. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 77-88, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.031.

PAES, J. B.; BROCCO, V. F.; MOULIN, J. C.; MOTTA, J. P.; ALVES, R. C. Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita Nasutitermes corniger. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 569-578, 2015a. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201521041849.

PAES, J. B.; GUERRA, S. C. S.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA, J. G. L.; SÃO TEAGO, G. B. Efeito do teor de extrativos na resistência natural de cinco madeiras ao ataque de cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1259-1269, 2016. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509825137.

PAES, J. B.; SANTOS, L. L.; SILVA, L. F.; MOTTA, J. P.; BRAZ, R. L.; LOMBARDI, L. R. Caracterização tecnológica da madeira juvenil de teca (*Tectona grandis*) visando à produção de móveis. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 437-442, 2015b. DOI: DOI: https://doi.org/10.5039/agraria.v10i3a3906.

PAINE, C. E. T.; STAHL, C.; COURTOIS, E. A.; PATIÑO, S.; SARMIENTO, C.; BARALOTO, C. Functional explanations for variation in bark thickness in tropical rain forest trees. **Functional Ecology**, v. 24, n. 6, p. 1202-1210, 2010. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01736.x.

PATTEN, A. M.; VASSÃO, D. G.; WOLCOTT, M. P.; DAVIN, L. B.; LEWIS, N. G. Trees: a remarkable biochemical bounty. **Comprehensive Natural Products II**, v. 3, p. 1173-1296, 2010.

PELISSARI, A. L. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L. f. na região Sul do estado de Mato Grosso**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

PÉREZ CORDERO, L. D.; KANNINEN, M. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2003. DOI: https://doi.org/10.14214/sf.511.

PÉREZ, D.; KANNINEN, M. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 2, p. 217-225, 2005. DOI: https://doi.org/10.14214/sf.385.

PINTO, A, A. S.; CORRADI, B. L.; OLIVEIRA, A. C.; QUINTILHAN, M. T.; OLIVEIRA, W. C.; OLIVEIRA, L. L. M. Propriedades da madeira de *Tectona grandis* e sua preservação para utilização como mourões. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS DE MADERA, 2, CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DE LA MADERA EM LA CONSTRUCCIÓN, 2, 2017, Buenos Aires. **Anais** [...]. Buenos Aires: UNNOBA, 2017. Disponível em: https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T8-11.pdf. Acesso em: 16 jul. 2021.

PINTO, M. L. **Propriedades e características da madeira de teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. 2007. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PRATIWI, L. A.; DARMAWAN, W.; PRIADI, T.; GEORGE, B.; MERLIN, A.; GERARDIN, C.; DUMARÇAY, S.; GERARDIN, P. Characterization of thermally modified short and long rotation teaks and the effects on coatings performance. **Maderas**: Ciencia y Tecnología, v. 21, n. 2, p. 209-222, 2019. DOI: https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000208.

PRIYA, P. B.; BHAT, K. M. Wood anatomical changes in juvenile teak due to insect defoliation. **IAWA Journal**, v. 18, n. 3, p. 311-317, 1997.

QIU, H.; LIU, R.; LONG, L. Analysis of chemical composition of extractives by acetone and the chromatic aberration of teak (*Tectona grandis* L. f.) from China. **Molecules**, v. 24, n. 10, p. 1-11, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules24101989.

QUEIROZ, F. L. C. **Qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. de diferentes procedências para utilização na indústria de produtos florestais**. 2018. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

QUINTILHAN, M. T.; SANTINI JÚNIOR, L.; GOES, L. S. A.; OLIVEIRA, W. C.; OLIVEIRA, A. C.; TOMMASIELLO FILHO, M. Análise comparativa da estrutura anatômica e densidade aparente do lenho de árvores de *Tectona grandis* L. f. aos 6 e 34 anos. In: CONGRESSO FLORESTAL LATINO-AMERICANO, 7., 2018, Vitória. **Anais** [...]. Vitória: PPGCF/UFES, UFRRJ, IF. 2018. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/conflat/95452-analise-comparativa-da-estrutura-anatomica-e-densidade-aparente-do-lenho-de-arvores-de-tectona-grandis-lf-aos-6-/. Acesso em: 16 jul. 2021.

RAHMAN, M. M.; FUJIWARA, S.; HIRAKAWA, Y.; KANAGAWA, Y. Wood density in relation to growth rate and tissue proportions of teak grown in Bangladesh. **Journal of Forest Planning**, v. 10, n. 2, p. 53-57, 2004. DOI: https://doi.org/10.20659/jfp.10.2_53.

RAHMAN, M. M.; FUJIWARA, S.; KANAGAWA, Y. Variations in volume and dimensions of rays and their effect on wood properties of teak. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 3, p. 497-504, 2005.

RIVERO, J.; MOYA, R. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. f. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. **Kurú**: Revista Forestal, v. 3, n. 9, p. 50-63, 2006.

RIZANTI, D. E.; DARMAWAN, W.; GEORGE, B.; MERLIN, A.; DUMARCAY, S.; CHAPUIS, H.; GÉRARDIN, C.; GELHAYE, E.; RAHARIVELOMANANA, P.; SARI, R. K.; SYAFII, W.; MOHAMED, R.; GERARDIN, P. Comparison of teak wood properties according to forest management: short versus long rotation. **Annals of Forest Science**, v. 75, n. 39, p. 1-12, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-018-0716-8.

ROCHA, S. M. G.; VIDAURRE G. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, M. N. F.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O. C.; SCOLFORO, H. F.; ALVARES, C. A.; NEVES, J. C. L.; XAVIERA, A. C.; FIGURA, M. A. Influence of climatic variations on production, biomass, and density of wood in eucalyptus clones of different species. **Forest Ecology and Management**, v. 473, e118290, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118290.

RODRÍGUEZ-ANDA, R.; FUENTES-TALAVERA, F. J.; SILVA-GUZMÁN, J. A.; PALACIOS-JUÁREZ, H.; TURRADO-SAUCEDO, J. Relationship of the cellular structure of teak wood (*Tectona grandis* L. f.) with different ages and growth sites. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 101-114, 2018. DOI: https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.07.050.

ROQUE, R. M.; ACOSTA, F. M.; JIMÉNEZ, A. B. Teca: Tectona grandis L. f. Verbenaceae. Ficha técnica 7. In: ROQUE, R. M.; ACOSTA, F. M.; GARITA, C. S.; JIMÉNEZ, A. B.; ZÚÑIGA, L. L.; SEGURA, E. E. Tecnología de madera de plantaciones forestales: fichas técnicas. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 7, n. 18-19, p.117-131, 2010.

ROQUE, R. M.; LEDEZMA, V. A. Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. **Madera y Bosques**, v. 9, n. 2, p. 15-27, 2003. DOI: https://doi.org/10.21829/myb.2003.921283.

SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; BEHLING, A. Incremento diamétrico e percentuais de cerne e de casca em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no sudeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1946-1954, 2014.

SCARPARO, B. T. **Avaliação das propriedades da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) no Estado de Goiás - Brasil**. 2015. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria, RS: FACOS-UFSM, 2008. 556 p.

SEGURA, C. E. C.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J.; MORA, H. E. G. Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada en Chanchamayo – Perú. **Ciência da Madeira**, v. 11, n. 2, p. 107-120, 2020. DOI: https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p107-120.

SETTE JÚNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 1183-1190, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019.

SEVISET, S.; PIROMGRAN, T.; SARIBUTR, U.; PORNCHAROEN, R.; RAERAI, K.; CHAROENSETTASILP, S. Mechanical property of 9 years old thinning of teak plantation in Thailand. **MATEC Web of Conferences**, v. 95, p. 03004, 2017. DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/20179503004.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science**: an introduction. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. 477 p.

SHUKLA, S. R.; RAO, R. V.; SHASHIKALA, S.; KUMAR, P.; SHARMA, S. K. Wood quality variation in *Tectona grandis* (teak) clones from CSO raised at Maredumilli (Rajahmundry), Andhra Pradesh. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 8, p. 116-119, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13196-012-0045-8.

SIBOMANA, G.; MAKONDA, F. B. S.; MALIMBWI, R. E.; CHAMSHAMA, S. A. O.; IDDI, S. Effect of spacing on performance of teak at Longuza, Tanga, Tanzania. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 10, n. 2, p. 176-187, 1997.

SILVA, D. A.; CHRISTO, E. R.; BEHLING, A.; MAYER, S. L. S.; PELANDA, K. A.; SIMETTI, R. Potencial e qualidade da madeira de desbaste de teca para produção de biocombustível. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 299-305, 2015. DOI: https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.817.

SILVA, D. M. R. **Avaliação das propriedades físicas e da elasticidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. proveniente de povoamento com três densidades de plantio em Cáceres-MT**. 2010. 34 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.). In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (ed.). **Mogno-africano (*Khaya* spp.)**: atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 285-360. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202696/1/Mogno-Africano-08-10-2019.pdf. Acesso em: 16 jul. 2021.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; BALLARIN, A. W.; OLIVEIRA, J. T. S. Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN. J. C.; CARNEIRO, A. C. O. (ed.). **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. Vitória: EDUFES, 2020. p. 14-46. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/11606/1/digital_qualidade-da-madeira-de-eucalipto.pdf. Acesso em: 16 jul. 2021.

SINHA, S. K.; VIJENDRA, R. R.; RATHORE, T. S.; BORGAONKAR, H. P. Effect of growth rate and latewood content on basic density of wood from 120-to 154-year-old natural-grown teak (*Tectona grandis* L. f.). **International Research Journal of Biological Sciences**, v. 3, n. 4, p. 66-72, 2014.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry**: fundamentals and applications. San Diego: Academic Press, 1993. 293 p.

SOLORZANO, S.; MOYA, R.; MURILLO, O. Early prediction of basic density, shrinking, presence of growth stress, and dynamic elastic modulus based on the morphological tree parameters of *Tectona grandis*. **Journal of Wood Science**, v. 58, n. 4, p. 290-299, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10086-012-1261-y.

SOUZA, M. T. **Influência do espaçamento e da posição radial nas dimensões das fibras da madeira de *Tectona grandis* Linn. f**. 2010. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SOUZA, R. S. **Propriedades tecnológicas de *Tectona grandis* proveniente de sítios distintos**. 2019. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SOUZA, R. S.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; GONTIJO, A. B. Anatomical characteristics of *Tectona grandis* L. f. from different sites in Mato Grosso state. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1528-1537, 2019. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509834563.

TEWARI, V. P.; MARISWAMY, K. M. Heartwood, sapwood and bark content of teak trees grown in Karnataka, India. **Journal of Forestry Research**, v. 24, n. 4, p. 721-725, 2013.

THULASIDAS, P. K.; BAILLÈRES, H. Wood quality for advanced uses of teak from natural and planted forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Vienna: IUFRO, 2017. p. 73-81. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. **Holz Roh Werkst**, v. 65, p. 121-124, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s00107-006-0127-7.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Log characteristics and sawn timber recovery of home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India. **Small Scale Forestry**, v. 8, p. 15-24, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s11842-008-9064-0.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Mechanical properties, and wood structure characteristics of 35-year-old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation teak. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 9, n. 1, p. 23-32, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007%2Fs13196-012-0062-7.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M.; OKUYAMA, T. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 51-54, 2006.

TONDJO, K.; BRANCHERIAU, L.; SABATIER, S. A.; KOKUTSE, A. D.; AKOSSOU, A.; KOKOU, K.; FOURCAUD, T. Is the variability of key wood properties linked with the variability of key architectural traits? Case of planted Teak in Togo regarding thinning and provenance. **Annals of Forest Science**, v. 72, p. 717-729, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-014-0425-x.

TONINI, H; COSTA, M. C. G; SCHWENGER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 5-14, 2009.

TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. **IAWA Bulletin**, v. 11, n. 2, p. 141-166, 1990.

UGALDE ARIAS, L. A. (ed.) **Teak**: new trends in silviculture, commercialization, and wood utilization. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforestry, 2013. 552 p.

UGALDE ARIAS, L.; FLORES, M. G. **Perspectivas económicas y ambientales de las plantaciones de teca bajo manejo sostenible, en Panamá**. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforestry, 2006. 71 p.

VALERO, S. W.; REYES, C. E. C.; GARAY, J. D. A. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la unidad experimental de la reserva forestal Ticoporo, estado Barinas. **Revista Forestal Venezolana**, v. 49, n. 1, p. 61-73, 2005.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; CARVALHO, S. P. C.; MEDEIROS, R. A.; MÔRA, R. Modelagem da espessura e percentual de casca em árvores de *Tectona grandis* L. f. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 139-149, 2019.

VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; SORANSO, D. R.; BROCCO, V. F.; BILLO, D.; CESCHIM, E.; MARTINS, S. R. Variação radial das densidades aparente e básica do lenho de teca com 20 anos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14, 2014, Natal. **Anais** [...]. Natal: IBRAMEM. 2014.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 3, p. 381-390, 2005. DOI: https://doi.org/10.14214/sf.375.

WAHYUDI, I.; SINAGA, D. K. D.; JASNI, L. B. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan pohon dan beberapa sifat fisis - mekanis kayu jati cepat tumbuh. **Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia**, v. 19, n. 3, p. 204-210, 2014.

WANNENG, P. X.; OZARSKA, B.; DAIAN, M. S. Physical properties of *Tectona grandis* grown in Laos. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 26, n. 3, p. 389-396, 2014.

WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989. DOI: https://doi.org/10.1163/22941932-90000496.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

ZAHABU, E.; RAPHAEL, T.; IDDI, S. A. O. C. S.; MALIMBWI, R. E. Effect of spacing regimes on growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* at Longuza Forest Plantation, Tanzania. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, p. 1-6, 2015. DOI: https://doi.org/10.1155/2015/469760.



18

Certificação florestal FSC® da teca

Daniela Teixeira Vilela
Maureen Voigtlaender

Introdução

Existem duas organizações internacionais, sem fins lucrativos, focadas na certificação florestal, o Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC®) e o Forest Stewardship Council (FSC®). O FSC foi fundado em 1994, como consequência da então conferência da Organização das Nações Unidas (ONU), a Eco-92, realizada em 1992, no Rio de Janeiro, RJ, no intuito de firmar um acordo sobre questões ambientais entre diversos governos mundiais (Burns et al., 2016). A criação do FSC® ocorreu, principalmente, por iniciativa da sociedade civil, com a participação de Organizações Não Governamentais (ONGs) ambientais, comerciantes de madeira, grupos de povos indígenas, organizações de trabalhadores, dentre outros.

A certificação florestal tem como foco principal promover o bom manejo das florestas e facilitar a rastreabilidade dos produtos originários destas, gerando maiores benefícios ambientais, sociais e econômicos, quando comparados aqueles gerados em florestas manejadas da forma convencional. Além disso, também influencia o comportamento dos consumidores, por identificar produtos madeireiros e não madeireiros manejados de forma a minimizar os impactos e promover a sustentabilidade (Tosun, 2012).

Para as ONGs, uma motivação à certificação florestal, foi a perspectiva do aprimoramento das práticas florestais, ou seja, de todo o manejo florestal e, também, a melhoria das informações disponibilizadas aos consumidores, sobre a origem e a qualidade da madeira. Já os produtores florestais foram motivados a obter a certificação do manejo de suas áreas por diversos aspectos, como a perspectiva do chamado "preço premium", a redução dos riscos, o aumento da participação no mercado e a diferenciação do produto para outros mercados e para novos consumidores (Bass et al., 2001). No entanto, em questões práticas, a certificação florestal vem se tornando imprescindível também por se caracterizar como um mecanismo chave de regulação de mercado (Burns et al., 2016; Carlson; Palmer, 2016).

A primeira certificação florestal FSC® no Brasil data de 1995, mas somente em 1996 começaram as articulações, por meio de um grupo de trabalho, para oficializar o FSC® no País. O FSC® Brasil começou suas atividades em 2001, por meio da formalização do Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 2009; Zerbini, 2014).

Atualmente, a certificação FSC® está presente em 89 países, com 1.733 certificados de manejo florestal expedidos e aproximadamente 211 milhões de ha certificados e com

43 mil certificados de cadeia de custódia. A maior parte das florestas certificadas se localiza na Europa (52%), seguida pela América do Norte (30%), América Latina (7%), Ásia (6%), África (3,5%) e Oceania (1,5%). O Brasil ocupa o sexto lugar entre os países com certificação, com mais de 7 milhões de ha certificados (Forest Stewarship Council, 2020).

Nesse capítulo, será apresentado o cenário mundial da certificação FSC®, em áreas com plantações de teca, a partir do contexto histórico da certificação de manejo florestal da América Latina, da Ásia e da África, bem como seus impactos em termos do atendimento das organizações certificadas, com relação aos Princípios e Critérios do padrão FSC®.

Tipos de certificados FSC®

Atualmente, existem três modalidades de certificação FSC®: Manejo Florestal, Cadeia de Custódia e Madeira Controlada.

A certificação de Manejo Florestal atesta que o manejo foi realizado nas Unidades de Manejo Florestal (UMFs), de acordo com os Princípios e Critérios estabelecidos pelo FSC® (Forest Stewarship Council, 2014, 2015). A UMF se refere a toda área onde são aplicados esses princípios e critérios. O certificado pode ser emitido para florestas naturais ou para plantações, sendo públicas ou privadas, para produtos madeireiros ou não madeireiros ou, ainda, exclusivamente para a geração de serviços ecossistêmicos, promovidos por pequenos ou grandes produtores, bem como por comunidades e por populações tradicionais (Zerbini, 2014).

A Cadeia de Custódia avalia a rastreabilidade da matéria-prima, desde a sua saída da área de produção florestal, passando por todas as etapas produtivas até chegar ao consumidor final. O seu intuito é assegurar que não haja mistura de matéria-prima certificada com matéria-prima não certificada ou, caso essa combinação esteja presente, que aconteça de acordo com as regras estabelecidas pelo FSC® (Forest Stewarship Council, 2011; Zerbini, 2014). No Brasil, existem 1.065 certificados de Cadeia de Custódia, sendo que 24 destes possuem produtos de teca (*Tectona grandis* L. f.) em seu escopo. Estes certificados estão distribuídos pelos seguintes estados: Paraná (sete empreendimentos), São Paulo (seis empreendimentos), Pará (três empreendimentos), Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Distrito Federal (cada um com dois empreendimentos), Minas Gerais e Santa Catarina (cada um com um empreendimento). Interessante observar que a maioria destes empreendimentos certificados comercializa a teca como madeira para construção civil (12 empreendimentos), móveis para áreas externas e jardins (dez empreendimentos), madeira serrada (nove empreendimentos) e móveis para área interna (oito empreendimentos).

A outra opção é conhecida como Madeira Controlada, ou seja, que não é certificada, mas garante que produtos de origem florestal de categorias consideradas inaceitáveis pelo FSC® não sejam usados por empresas certificadas. Neste caso, a madeira usada não deve se enquadrar nas seguintes categorias: a) madeira explorada ilegalmente, b) madeira explorada em violação de direitos tradicionais e humanos, c) madeira oriunda de florestas nas quais altos valores de conservação estejam ameaçados por atividades de manejo, d) madeira oriunda de florestas que estão sendo convertidas em plantações e uso não florestal e e) madeira de florestas nas quais árvores geneticamente modificadas sejam plantadas (Forest Stewarship Council, 2017).

Para operações florestais de pequena escala e baixa intensidade de manejo, o certificado pode ser de uma categoria específica chamada de Small and Low Intensity Managed Forests (SLIMF) ou Manejo Florestal em Pequena Escala e de Baixa Intensidade. Isso significa que os critérios de elegibilidade SLIMF classificam as propriedades por tamanho ou por intensidade de manejo. No Brasil, por exemplo, as florestas plantadas são consideradas como SLIMF quando são compostas por áreas de até 1.000 ha de área total (somadas as áreas de efetivo plantio, de preservação permanente e de reserva legal) e até 480 ha de efetivo plantio. Já as florestas nativas são compostas por até 1.000 ha de área total. O critério de operação florestal de baixo impacto é aplicável, principalmente, para florestas nativas e, eventualmente, para plantações florestais destinadas à exploração de produtos florestais não madeireiros. É considerada como de baixo impacto a colheita de até 20% do incremento médio anual da floresta e de, no máximo, 5 mil m^3 ano^{-1} (Forest Stewarship Council, 2013).

Com ênfase à certificação de manejo florestal, esta deve, essencialmente, atender aos Princípios e Critérios estabelecidos pelo FSC®, que são considerados os elementos principais do manejo florestal responsável. Esses Princípios e Critérios abrangem diversas questões relacionadas ao impacto ambiental, às relações comunitárias, aos direitos dos trabalhadores e à avaliação do desempenho do manejo (Forest Stewarship Council, 2014, 2015). O padrão de certificação para manejo florestal FSC® atual possui dez Princípios e 56 Critérios, sendo que cada Princípio é composto por seus Critérios e Indicadores:

Princípio 1: Conformidade com as leis e princípios FSC® (composto por seis Critérios);

Princípio 2: Posse, direitos e responsabilidades de uso (composto por três Critérios);

Princípio 3: Direitos dos povos indígenas (composto por quatro Critérios);

Princípio 4: Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores (composto por cinco Critérios);

Princípio 5: Benefícios da floresta (composto por seis Critérios);

Princípio 6: Impacto ambiental (composto por dez Critérios);

Princípio 7: Plano de manejo (composto por quatro Critérios);

Princípio 8: Monitoramento e avaliação (composto por cinco Critérios);

Princípio 9: Manutenção de florestas de alto valor de conservação (composto por quatro Critérios);

Princípio 10: Plantações (composto por dez Critérios).

Em uma análise dos 60 certificados válidos de manejo florestal FSC® para teca no mundo, é interessante observar que apenas dois não foram concedidos para áreas de plantações, mas sim áreas caracterizadas como "naturais" na China e "seminaturais" no Vietnã. Quanto ao tipo de operação florestal, ainda predomina a maior aplicação da categoria do certificado como "plantações", sendo que UMFs classificadas como SLIMF correspondem somente a 23% do total (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos de certificados por país, por categoria e por número, válidos para o manejo florestal FSC® de teca.

País	Tipo de certificado (*)	Categoria do certificado	Número de Certificados
África do Sul	UMFs múltiplos	Plantações	01
Brasil	Grupo	Plantações	02
Brasil	UMF único	Plantações	01
Camboja	UMF único	SLIMF	01
China	Grupo	SLIMF (Natural)|Plantações	01
China	UMFs múltiplos	Plantações	01
Colômbia	UMF único	Plantações	03
Costa Rica	Grupo	Plantações	02
Costa Rica	Grupo	SLIMF	01
Costa Rica	UMF único	Plantações	04
Costa Rica	UMFs múltiplos	Plantações	04
Equador	UMF único	Plantações	01
Gana	UMF único	Plantações	02
Guatemala	UMF único	Plantações	02
Ilhas Salomão	UMF único	Plantações	01
Indonésia	Grupo	SLIMF	04
Laos	UMF único	SLIMF	02

Continua . . .

Tabela 1. Continuação.

País	Tipo de certificado (*)	Categoria do certificado	Número de Certificados
Malásia	UMF único	Plantações	02
México	Grupo	SLIMF	01
México	UMF único	Plantações	01
Nicarágua	UMF único	Plantações	02
Nicarágua	UMF único	SLIMF	02
Nicarágua	UMFs múltiplos	Plantações	02
Panamá	Grupo	Plantações	01
Panamá	Grupo	SLIMF	01
Panamá	UMF único	Plantações	05
Panamá	UMFs múltiplos	Plantações	02
Peru	Grupo	SLIMF	01
Sri Lanka	UMF único	Plantações	01
Tailândia	UMFs múltiplos	Plantações	03
Uganda	UMF único	Plantações	01
Vietnã	Grupo	Plantações	01
Vietnã	UMF único	Plantações (Seminatural)	01
Total			**60**

(*) Tipos de certificado. UMF único: uma unidade de manejo florestal gerida por um único empreendimento de manejo; UMFs múltiplos: mais de uma unidade de manejo florestal gerida por um único empreendimento de manejo; Grupo: uma ou mais unidades de manejo florestal reunidas gerida(s) por um ou mais empreendimentos de manejo, em um único processo de certificação.

Fonte: Forest Stewarship Council (2020).

Cenário mundial da certificação florestal FSC® em áreas de teca

A teca é uma das espécies madeireiras tropicais mais importantes do mundo, tanto em florestas naturais, bem como em plantios comerciais (Graudal; Moestrup, 2017). Em 2010, existiam aproximadamente 29 milhões de ha de florestas naturais de teca, distribuídos na Índia, Laos, Mianmar (antiga Birmânia) e Tailândia, sendo que quase a metade desta área estava localizada em Mianmar (Kollert; Cherubini, 2012 citado por Khaing et al., 2017; Midgley et al., 2015). Porém, em situação global, as florestas naturais de teca se encontram em declínio, em especial, devido à superexploração das áreas existentes pelo desmatamento e pela conversão de áreas naturais para outros usos da terra (Appanah, 2016).

Atualmente, a espécie é considerada como detentora de uma madeira valiosa emergente, que tem crescido em termos de áreas plantadas em países tropicais, principalmente na América Latina, na Ásia e na África. Estima-se uma área plantada entre 4-6 milhões de ha nestas regiões (Kollert; Kleine, 2017).

De acordo com o levantamento realizado nos certificados de manejo florestal FSC® de plantios de teca, verificou-se que estes se localizam também nestas três principais regiões. Para o período de 1995-2020, observaram-se três categorias de certificados: encerrados, suspensos e válidos, totalizando 126 certificados emitidos no período. Na América Latina, foram identificados 76 certificados, abrangendo uma área total de 320.344 ha; na Ásia, foram 44 certificados totalizando 1.636.645 ha e, na África, seis certificados totalizando 144.861 ha (Figura 1).



Figura 1. Distribuição geográfica das áreas certificadas de manejo florestal FSC® em plantios de teca (certificados encerrados, suspensos e válidos), no período de 1995-2020.
Fonte: Forest Stewarship Council (2020).

Os primeiros certificados de manejo florestal FSC® em plantios de teca ocorreram na América Latina. No período entre 1995-1999, havia somente três empreendimentos certificados. O primeiro foi emitido em 1995 na Costa Rica, para aproximadamente 1.600 ha de área total e permaneceu válido durante 23 anos. Em 1998, dois outros empreendimentos também foram certificados, sendo um na Costa Rica e outro no Brasil, totalizando 33.667 ha.

No período entre 2000-2004, 14 novos empreendimentos foram certificados, sendo: onze na América Latina, dois na África e somente um na Ásia, perfazendo aproximadamente 202 mil ha certificados. No entanto, deste total, 53.380 ha não são mais certificados atualmente.

No período entre 2005-2009, a América Latina certificou 25 novos empreendimentos, ao passo que a Ásia certificou três novos empreendimentos e a África somente um empreendimento, totalizando 235 mil ha certificados. Porém, na contramão deste crescimento, 103 mil ha deixaram de ser certificados.

Entre 2010-2014, houve um acréscimo no número de novos empreendimentos certificados, sendo 23 na América Latina, 24 na Ásia e um na África. Interessante observar que dois empreendimentos da Ásia, sozinhos, certificaram um total de quase 350 mil ha nesse período.

No último período, entre 2015-2020, Ásia e América Latina continuaram a se destacar, com 16 e 12 novos empreendimentos certificados, respectivamente. A África contou com apenas um novo certificado. Um salto na área total certificada foi verificado em 2016, por um plantio de teca na Índia, com aproximadamente 420 mil ha. Mas, ao mesmo tempo, certificados que perfazem mais de 1 milhão de ha foram encerrados ou suspensos. Se todos os certificados tivessem se mantido válidos em 2016, a área total certificada teria chegado a aproximadamente 1,83 milhão de ha (Figura 2A).

No período entre 2016-2020, observa-se uma estabilização na flutuação da área total certificada (certificados válidos), permanecendo na faixa entre 700-800 mil ha. Atualmente, a área total certificada FSC® com plantios de teca corresponde a 826.600 ha (Figura 2B).

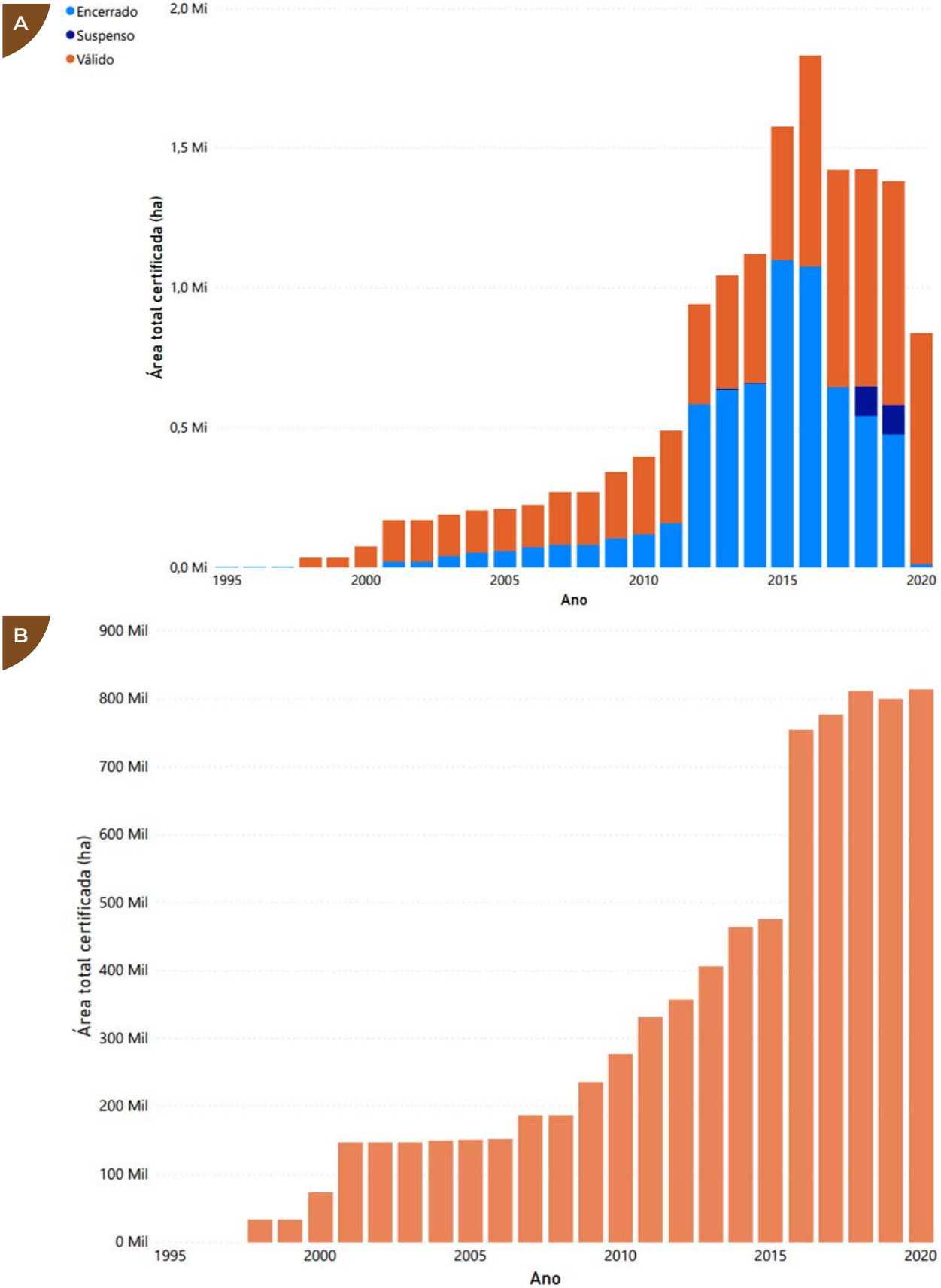


Figura 2. Área total certificada de teca com: certificados encerrados, suspensos e válidos (A) e somente válidos (B), no período de 1995-2020.

Legenda: Não foram consideradas as mudanças de escopo ao longo do período de manutenção de cada certificado.

Fonte: Forest Stewarship Council (2020).

Histórico da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca na América Latina, na Ásia e na África

A Costa Rica e o Brasil são os dois países da América Latina precursores na certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca, os quais permanecem até hoje no cenário florestal (Figura 3). O Brasil obteve a maior área total certificada da América Latina em 2020, com aproximadamente 82.000 ha, seguido do México com 35.240 ha, Costa Rica com 32.169 ha, Panamá com 31.158 ha, Nicarágua com 22.731 ha, Guatemala com 18.304 ha, Colômbia com 16.594 ha, Equador com 5.285 ha e Peru com 294 ha. A Bolívia já possuiu plantios de teca certificados, mas apenas no período entre 2010-2011.

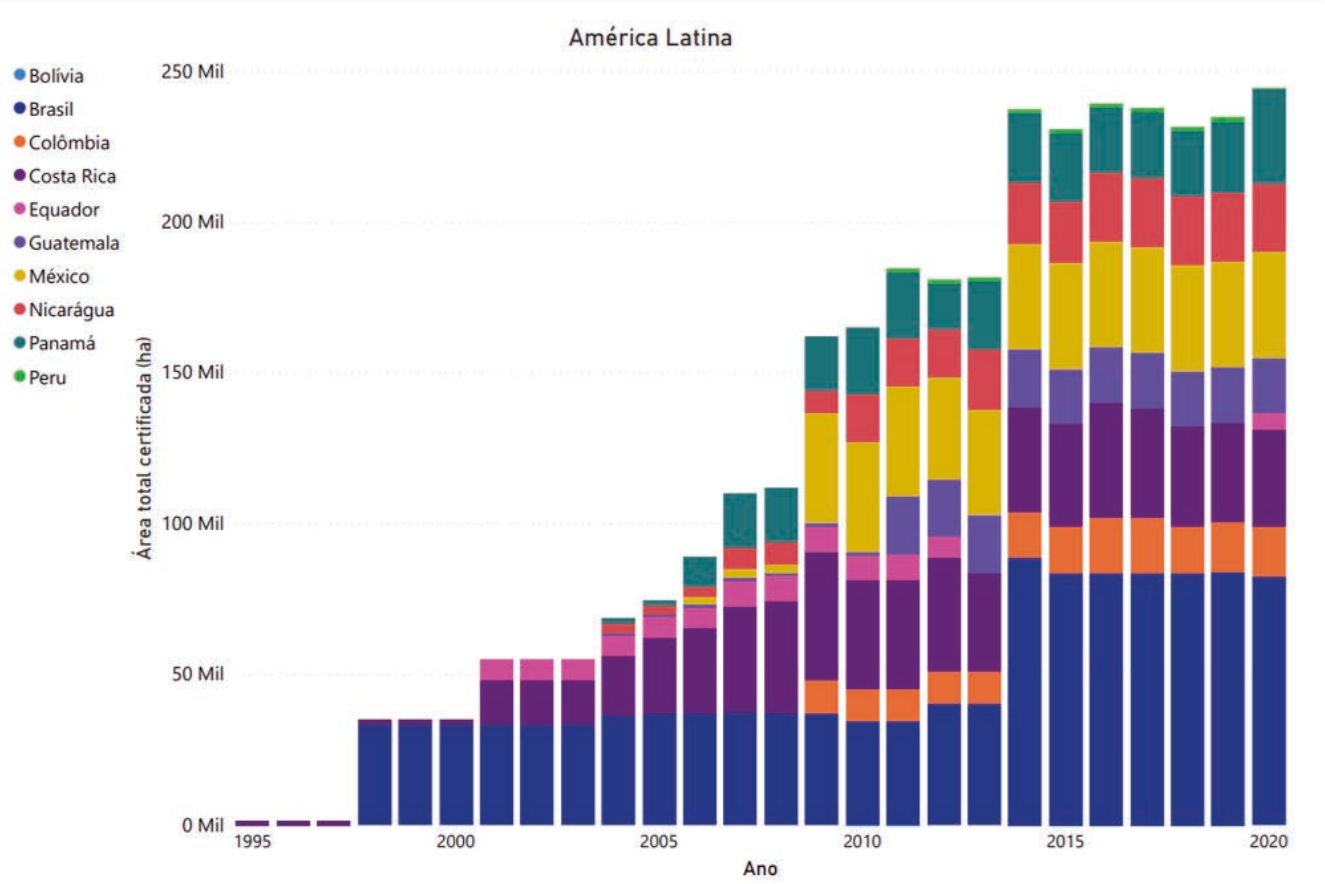


Figura 3. Panorama da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca na América Latina, no período entre 1995-2020 (certificados encerrados, suspensos e válidos).

Legenda: Não foram consideradas as mudanças de escopo ao longo do período de manutenção de cada certificado.

Fonte: Forest Stewarship Council (2020).

Nota-se que, desde 2014, a área certificada FSC® com plantios de teca na América Latina tem se mantido entre 200-250 mil ha, com uma área total certificada correspondente a 244.307 ha em 2020.

Atualmente, no Brasil, existem três certificados válidos de manejo florestal FSC® em plantios de teca e três encerrados. Dos certificados válidos, dois se localizam no Mato Grosso, com 34.327 ha de área total e um no Pará, com 48.200 ha de área total. Dos certificados encerrados, dois no Mato Grosso correspondiam a 4.163 ha e um, em Minas Gerais, com uma área total de 4.859 ha.

Não existem dados oficiais quanto aos plantios de teca não certificados, mas estima-se que estes estejam nos estados de Rondônia, Acre e Goiás, principalmente. Mato Grosso e Pará concentram mais de 90% da área plantada no País. No período entre 2011-2012, a área total com plantios de teca correspondia a aproximadamente 67 mil ha, sendo que, a partir de 2013, houve um aumento significativo de 30% em relação a 2012 (Indústria Brasileira de Árvores, 2019). No período entre 2011-2015, observa-se que, na média, somente metade da área total com plantios de teca era certificada pelo FSC®. A partir de 2016, a área total de plantios de teca no Brasil chega ao patamar acima de 80 mil ha. Atualmente, 89% dos plantios de teca no Brasil possuem certificação de manejo florestal FSC® (Figura 4).

A Ásia apresenta um cenário bem diferente da América Latina. O primeiro certificado de manejo florestal FSC® em plantios de teca ocorreu em 2000, somente cinco anos após ao primeiro da América Latina, sendo localizado nas Ilhas Salomão, com aproximadamente 39 mil ha. No entanto, apenas em 2005 surgiu outro empreendimento certificado, na Indonésia, com 768 ha. Em 2011, observa-se um maior número de empreendimentos em outros países asiáticos buscando a certificação, tais como aqueles ocorridos na China, Laos, Malásia e Tailândia. Um salto expressivo na área total certificada de teca é verificado em 2012, com a entrada da Índia, com aproximadamente 368 mil ha e, ainda mais significativo, em 2015, com um aumento da área da Índia para 786 mil ha certificados. A área total certificada na Ásia atingiu o auge em 2016, com um total de 1,483 milhão de ha. Nos últimos três anos, a Ásia ainda se manteve na faixa entre 1-1,2 milhão de ha. Porém, em 2020, Papua Nova Guiné e Índia (com a suspensão de um empreendimento) não possuem mais áreas certificadas. Assim, a área total certificada atualmente corresponde a 469.495 ha, com a Malásia respondendo por, aproximadamente, 63% desse total (Figura 5).

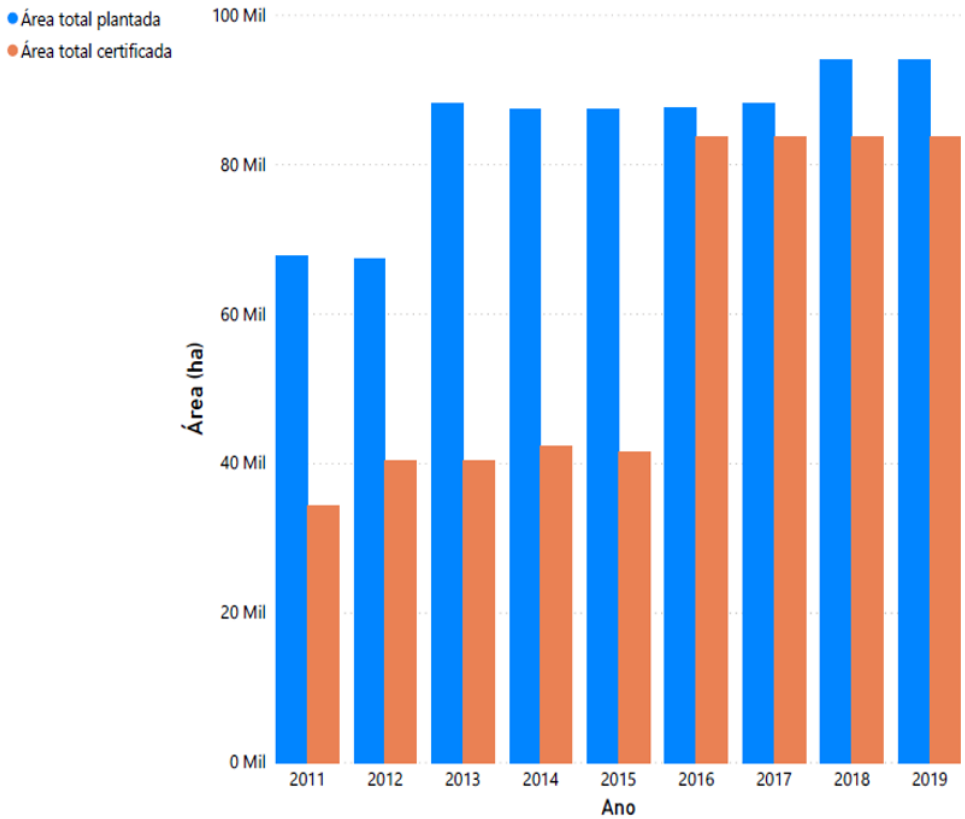


Figura 4. Comparação da área certificada com manejo florestal FSC® em relação à área plantada de teca no Brasil, no período entre 2011-2019.

Fontes: Forest Stewardship Council (2020) e Indústria Brasileira de Árvores (2019).

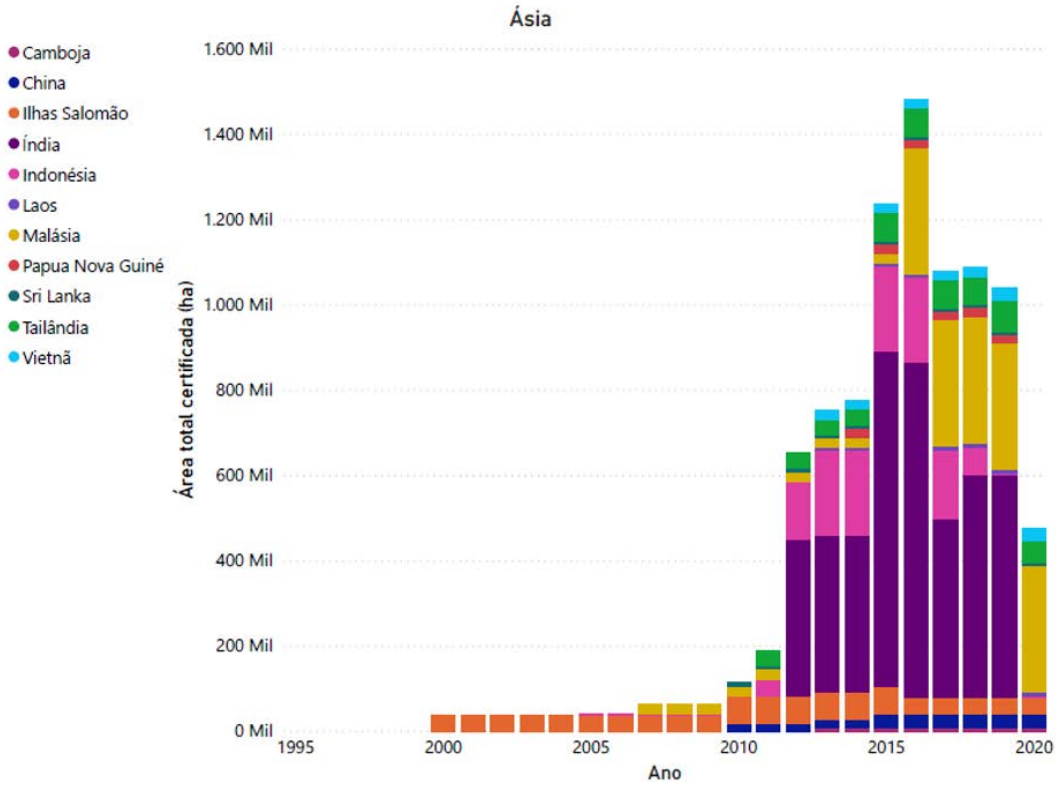


Figura 5. Panorama da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca na região da Ásia, no período de 1995-2020 (certificados encerrados, suspensos e válidos).

Legenda: Não foram consideradas as mudanças de escopo ao longo do período de manutenção de cada certificado.

Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

Comparando-se a África com a América Latina e a Ásia, o número de países com certificação de manejo florestal de teca é bem inferior, contando apenas com África do Sul, Gana e Uganda. O primeiro certificado surgiu em 2001, na África do Sul, com uma área total certificada de aproximadamente 73 mil ha. Em 2009, foi certificado um empreendimento em Uganda, com 18.640 ha, seguido por Gana com aproximadamente 3.447 ha em 2010. Ao todo, a África historicamente possuiu seis empreendimentos certificados no período entre 2001-2020. A área total certificada em 2020, na África, corresponde a 104.901 ha, com a África do Sul respondendo por 70% desse total. Gana se destaca por manter seus dois empreendimentos certificados até o momento (Figura 6).

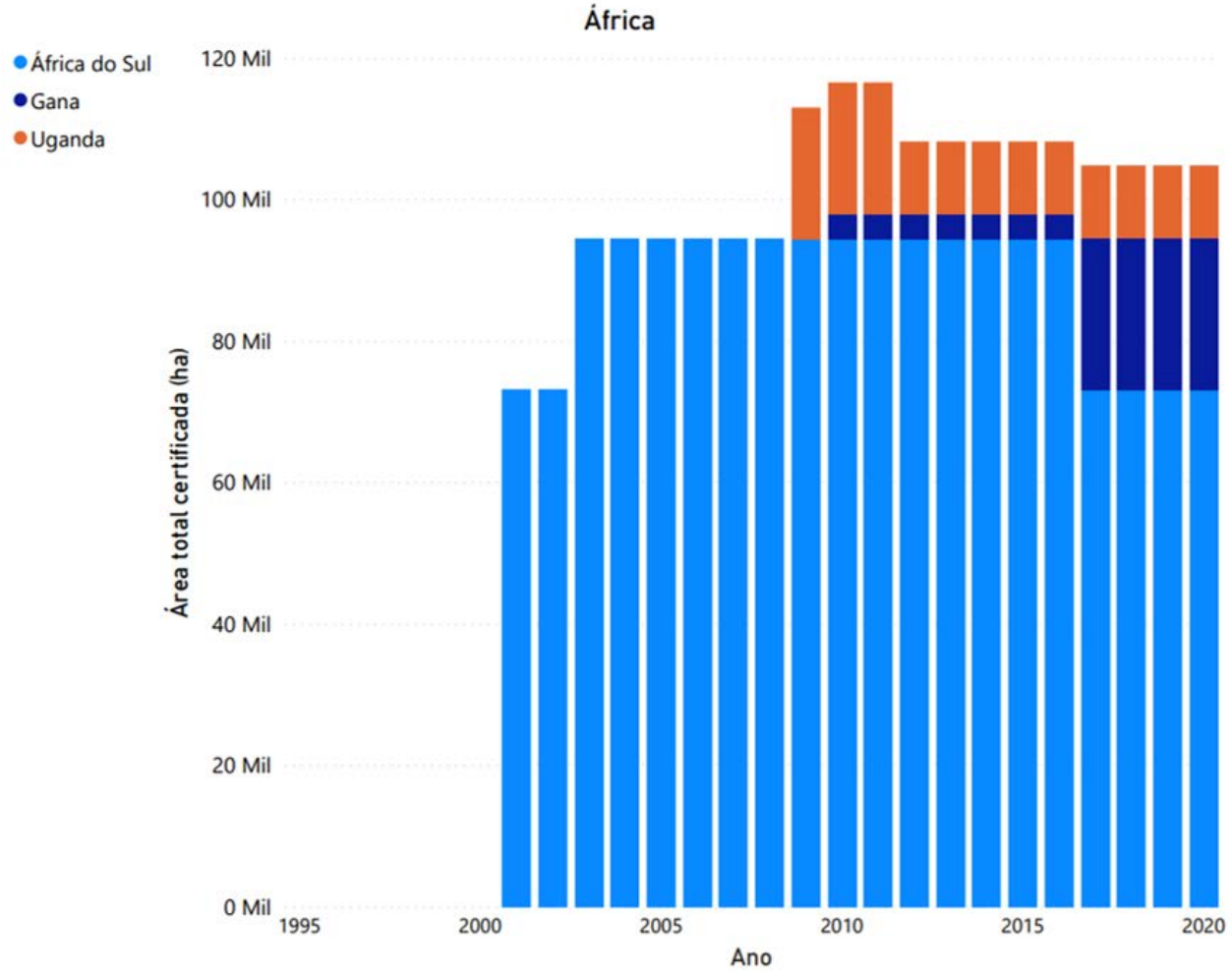


Figura 6. Panorama da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca na região da África, no período de 1995-2020.

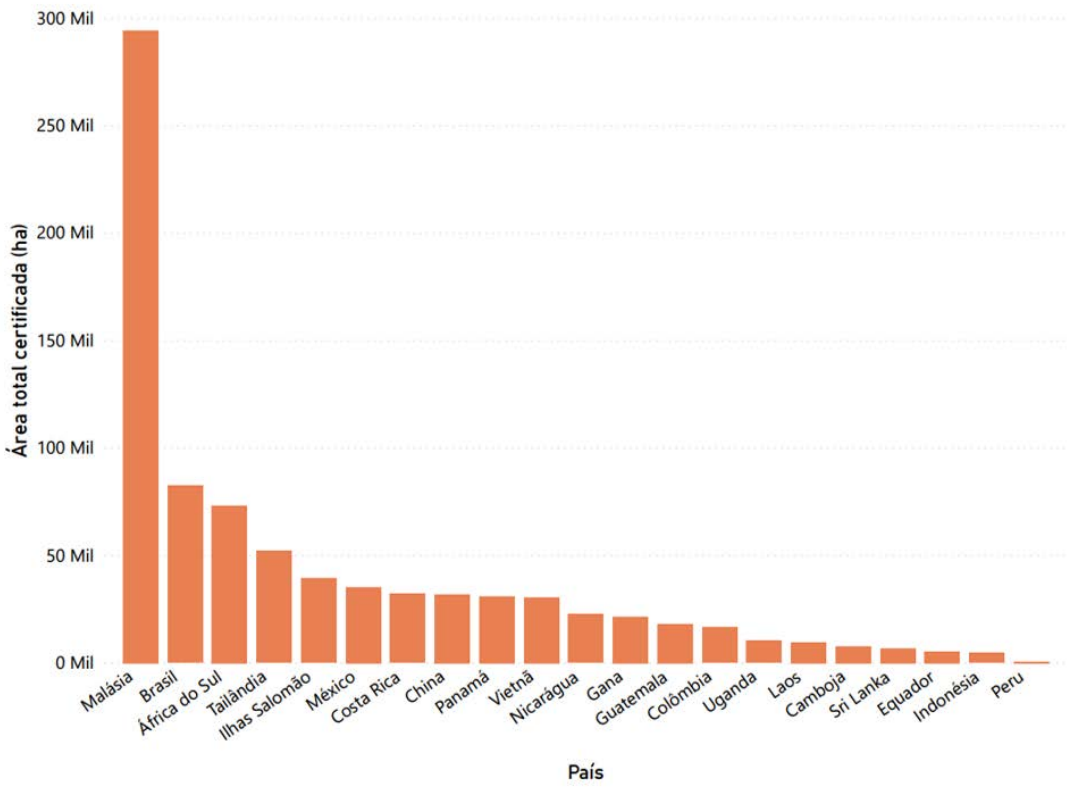
Legenda: Não foram consideradas as mudanças de escopo ao longo do período de manutenção de cada certificado.

Fonte: Forest Stewardship Council (2020)

A Ásia atualmente controla as tendências globais do mercado desta espécie, uma vez que possui mais de 90% da área plantada de teca no mundo, sendo que somente a Índia possui 38%. A alta demanda do mercado internacional por esta espécie ampliou a oferta de

madeira de áreas naturais de teca na Ásia, mas também permitiu que plantios da América Latina e da África entrassem no mercado (Kollert; Cherubini, 2012 citado por Khaing et al., 2017). Com base nessas informações e analisando historicamente a evolução da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca no mundo, observa-se que o mercado foi o principal fator impulsionador da crescente demanda por plantios certificados. A partir de 2010, as principais regiões com plantios de teca, como a América Latina e a África ultrapassam 100 mil ha certificados. A Ásia já possuía esse patamar e ascendeu nos anos seguintes, atingindo a marca de 1,483 milhão de ha certificados em 2016. No entanto, ao se considerar a estimativa de área total de aproximadamente 6 milhões de ha com plantios de teca no mundo, somente 14% da área total plantada se encontra certificada pelo FSC®.

Em termos de ranking mundial, considerando-se somente os 60 certificados atualmente válidos de manejo florestal FSC® em plantios de teca, há a Costa Rica com o maior número de certificados (onze), seguida do Panamá (nove), Nicarágua (seis) e Indonésia (quatro). No entanto, em termos de área total certificada, a Malásia, com apenas dois empreendimentos certificados, possui aproximadamente 294 mil ha e o Brasil é o segundo no ranking, com aproximadamente 82 mil ha de área total. A Costa Rica, embora tenha o maior número de empreendimentos certificados, responde por somente por 32.169 ha. O Peru, com apenas um empreendimento certificado, possui a menor área certificada de manejo florestal de teca, com 294 ha (Figura 7).



País	EMF
África do Sul	1
Brasil	3
Camboja	1
China	2
Colômbia	3
Costa Rica	11
Equador	1
Gana	2
Guatemala	2
Ilhas Salomão	1
Indonésia	4
Laos	2
Malásia	2
México	2
Nicarágua	6
Panamá	9
Peru	1
Sri Lanka	1
Tailândia	3
Uganda	1
Vietnã	2
Total	**60**

Figura 7. Área total de plantios de teca com certificados válidos de manejo florestal FSC®, por país, no período entre 1995-2020.

Legenda: Não foram consideradas as mudanças de escopo ao longo do período de manutenção de cada certificado.

Fonte: Forest Stewardship Council (2020)

Impactos da certificação de manejo florestal FSC® em plantios de teca

O processo de certificação requer uma verificação contínua do grau de atendimento do empreendimento com relação a cada indicador do padrão FSC®. Essa avaliação é parte do processo de certificação e é sempre conduzida por um organismo independente, chamado de terceira parte e denominado, assim, como "organismo de certificação". O processo conduzido pelo organismo de certificação garante a credibilidade do sistema, por meio da imparcialidade, sendo responsável pelas decisões da certificação, no sentido de emitir, retirar ou suspender um certificado. A equipe de auditoria possui um importante papel no processo de certificação, uma vez que é responsável pela coleta e pela análise das informações sobre como o empreendimento atende ao padrão de certificação FSC®. Outra responsabilidade desta equipe é identificar qualquer tipo de não conformidade (maior ou menor) e observações, de acordo com as respectivas gravidades verificadas no processo (Nussbaum et al., 2002).

Finalizada a auditoria pelo organismo de certificação, a equipe de auditoria é responsável pela elaboração de um relatório, denominado de "Resumo Público do Manejo Florestal". Este documento apresenta detalhes do processo de auditoria, como área total certificada (escopo), questões e, ou demandas de partes interessadas (stakeholders) e, principalmente, o resultado da auditoria, em que constam as não conformidades e as observações identificadas. As não conformidades e as observações fornecem uma imagem de como a UMF é "manejada" conforme preconizado pelos Princípios e Critérios do FSC®. Uma não conformidade significa uma irregularidade em relação aos requisitos do padrão FSC®, tornando-se um objetivo para mudanças positivas ou adaptações no manejo florestal (Meijaard et al., 2011). Assim, o relatório do Resumo Público pode ser um recurso inicial e importante para avaliar o impacto da certificação na UMF. Diversos estudos apontam que a certificação FSC® trouxe efeitos positivos para o manejo florestal (Cubbage et al., 2010; Ordóñez, 2013; Fujiwara et al., 2015).

A fim de caracterizar que tipo de transformação e qual o impacto que a certificação de manejo florestal FSC® trouxe para os plantios de teca no mundo, ao longo de 25 anos, é apresentada neste item uma análise das não conformidades e das observações emitidas no período. Nesta análise, foram considerados todos os resumos públicos oficiais dos 126 certificados FSC® com plantios de teca, tanto encerrados, suspensos e válidos, disponíveis na plataforma do FSC® Forest Stewardship Council (2020). Deste total, não

foram encontrados os Resumos Públicos de seis empreendimentos com certificados encerrados (três empreendimentos na Costa Rica, um no Brasil, um na Guatemala e um na Papua Nova Guiné). No entanto, enfatiza-se que esta análise foi realizada somente com informações disponíveis a partir de 2005, não sendo inclusos nas análises os relatórios de resumos públicos expedidos entre 1995-2004. Esse fato ocorre em função dos primeiros relatórios terem sido consolidados em documentos físicos e pela falta de uma plataforma online disponível até então.

Em relação aos requisitos exigidos pelo padrão de certificação de manejo florestal FSC®, foram identificadas na região da América Latina 2.014 não conformidades e observações (n) (Figura 8A). Costa Rica (734), Panamá (297), Brasil (290) e Nicarágua (219) se destacaram principalmente por possuírem o maior número de empresas certificadas, respectivamente. Bolívia (22) e Equador (35) são os países onde não conformidades e observações foram identificadas em menores frequências. As maiores frequências de não conformidades e observações podem ser verificadas em três Princípios: 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores), com 23%, 6 (Impacto ambiental) com 21% e 8 (Monitoramento e avaliação) com 15%, correspondendo a quase 60% das não conformidades e observações emitidas durante o período entre 2005-2020. Já para dois princípios: 2 (Posse, direitos e responsabilidades de uso) e 3 (Direitos dos povos indígenas) quase não foram verificadas não conformidades e observações (Figura 9).

Verifica-se que, para América Latina, Ásia e África, em três ciclos de certificação com cinco anos cada, que três Princípios: 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores), 6 (Impacto ambiental) e 8 (Monitoramento e avaliação) foram os mais significativos. Halalisan et al. (2016) e Rafael et al. (2018) verificaram tendência semelhante para estes mesmos princípios.

Na Ásia, foram identificadas 1.399 não conformidades e observações durante o mesmo período (2005-2020) (Figura 8B). Esse número, muitas vezes, pode ser entendido como proporcional à quantidade de empreendimentos certificados existentes (43). Mas, é importante observar que o número de não conformidades identificadas na Indonésia (359), que possui 17 empreendimentos certificados, não é muito significativo se comparado ao número de não conformidades e observações identificados, por exemplo, na Malásia (206), com apenas três empreendimentos certificados e, nas Ilhas Salomão (167), com dois empreendimentos certificados. Camboja (28) e China (53) são os países com menor número de não conformidades e de observações identificadas pelas equipes de auditoria.

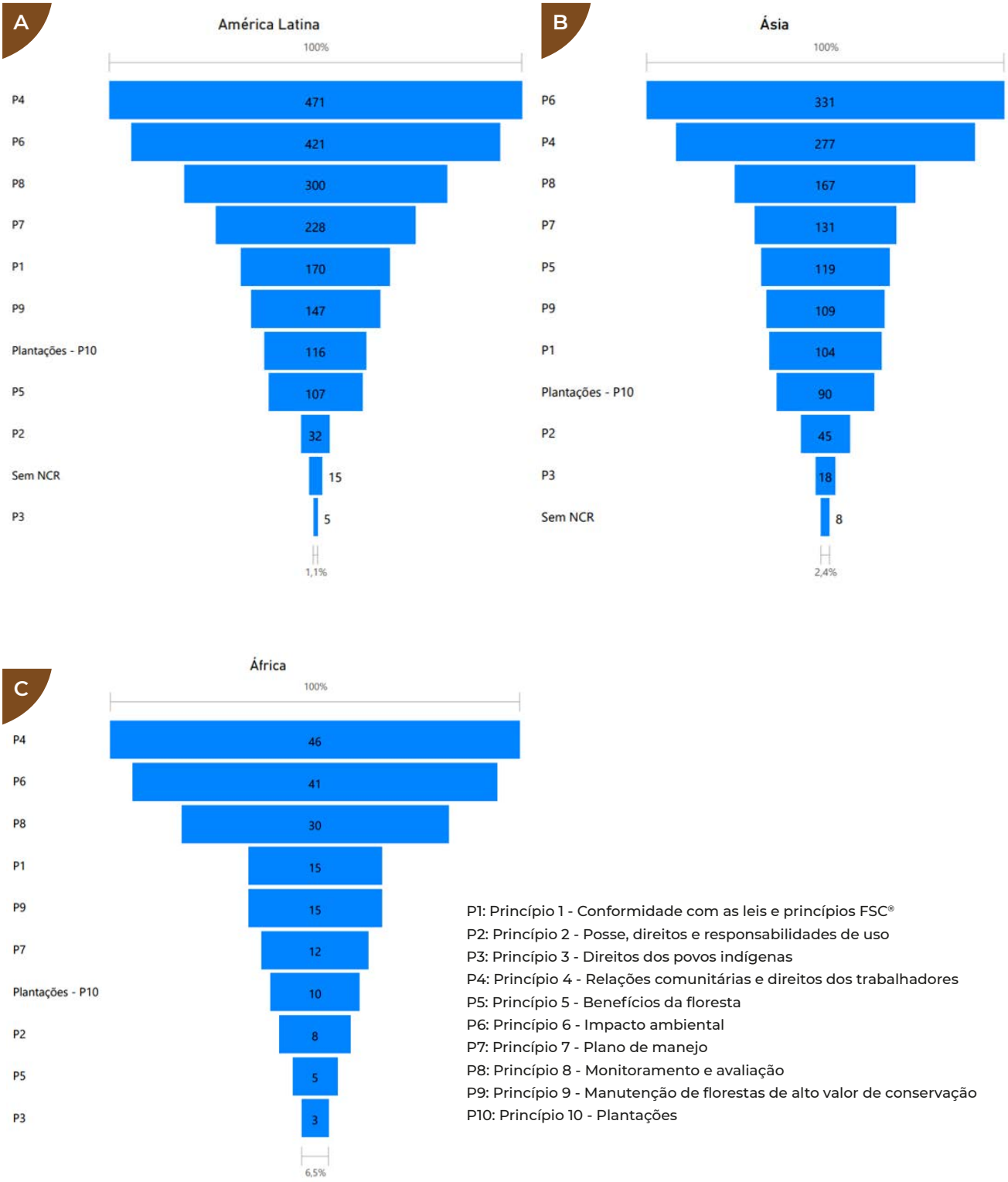
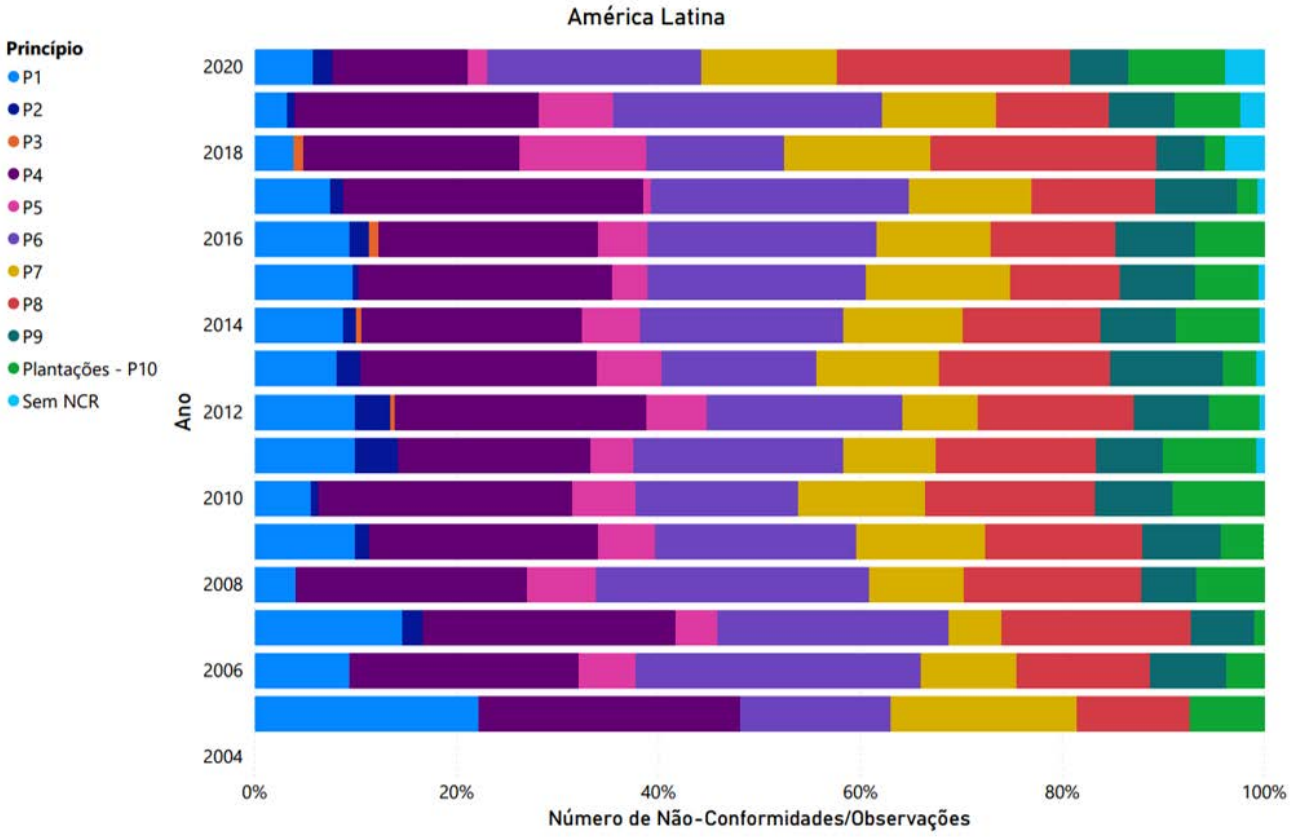


Figura 8. Total de não conformidades e observações identificadas em cada Princípio do FSC®, para as regiões: América Latina (A), Ásia (B) e África (C), em um total de 120 empreendimentos certificados com teca (encerrados, suspensos e válidos) emitidos no período de 2005-2020.

NCR: relatório de não conformidade.

Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

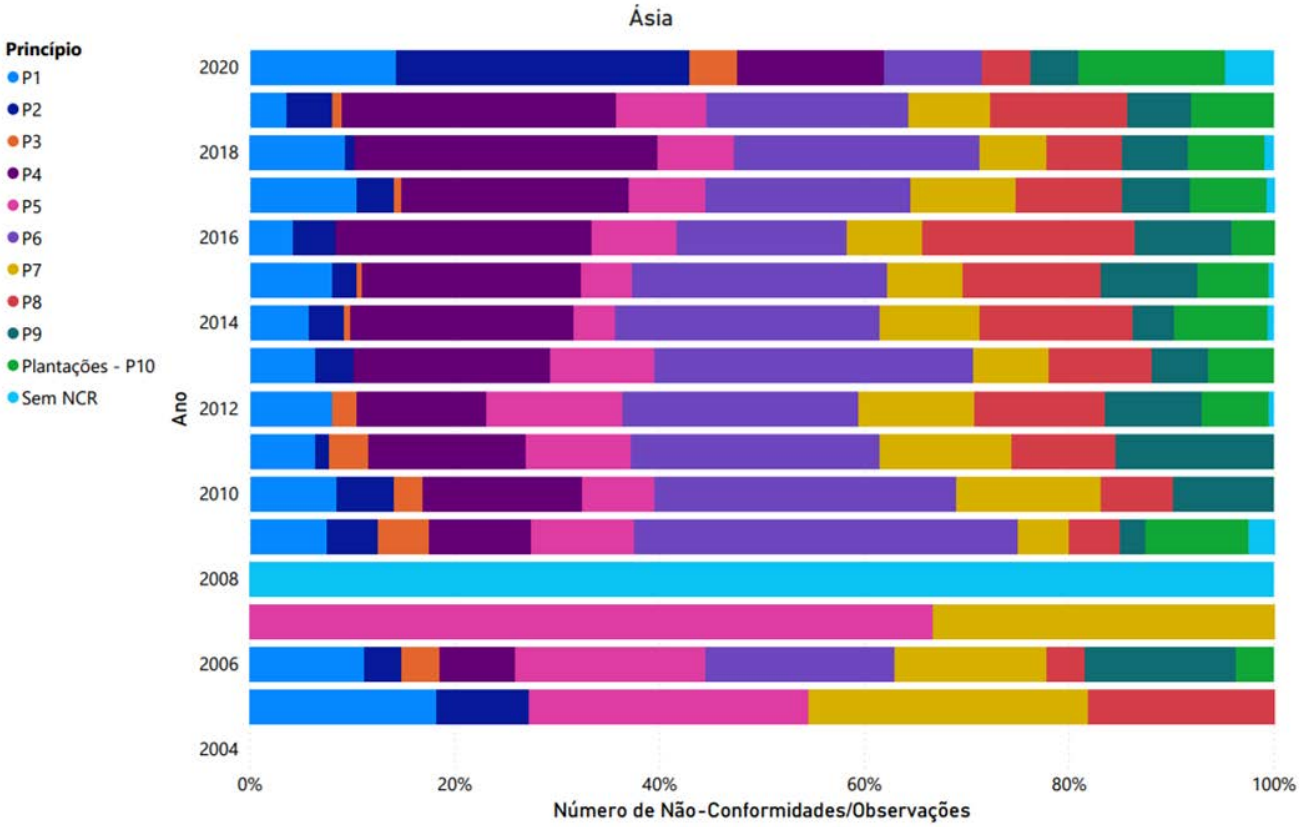


P1: Princípio 1 - Conformidade com as leis e princípios FSC®
P2: Princípio 2 - Posse, direitos e responsabilidades de uso
P3: Princípio 3 - Direitos dos povos indígenas
P4: Princípio 4 - Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores
P5: Princípio 5 - Benefícios da floresta
P6: Princípio 6 - Impacto ambiental
P7: Princípio 7 - Plano de manejo
P8: Princípio 8 - Monitoramento e avaliação
P9: Princípio 9 - Manutenção de florestas de alto valor de conservação
P10: Princípio 10 - Plantações

Figura 9. Não conformidades e observações emitidas entre 2005-2020, para 71 empreendimentos de teca certificados (encerrados, suspensos e válidos) pelo FSC®, na América Latina.
NCR: relatório de não conformidade.
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

Foi identificada situação um pouco diferente na Ásia, no período entre 2005-2008, pelo fato de somente uma empresa da Indonésia possuir certificação e relatório do Resumo Público disponível. Ao se analisar as não conformidades e as observações desse período para essa única empresa, observa-se um destaque para dois Princípios: 5 (Benefícios da floresta) e 7 (Plano de manejo), com maior porcentagem de não conformidades e observações, 37% e 25%, respectivamente. Já em 2008, a equipe de auditoria não identificou não conformidades e observações. Porém, esse cenário começa a se modificar a partir de 2011, quando vários empreendimentos foram certificados e que pode ser chamado de um ano "marco" para a região. A maior frequência de não conformidades e de observações pode ser verificada nos seguintes Princípios: 6 (Impacto ambiental) com 24%; 4 (Relações comunitárias e direitos dos

trabalhadores) com 20% e 8 (Monitoramento e avaliação) com 11%, o que corresponde a mais de 50% das não conformidades e observações emitidas entre 2009-2020. Já o Princípio 3 (Direitos dos povos indígenas) foi o que apresentou o menor número de não conformidades e de observações ao longo dos anos (2%) (Figura 10).

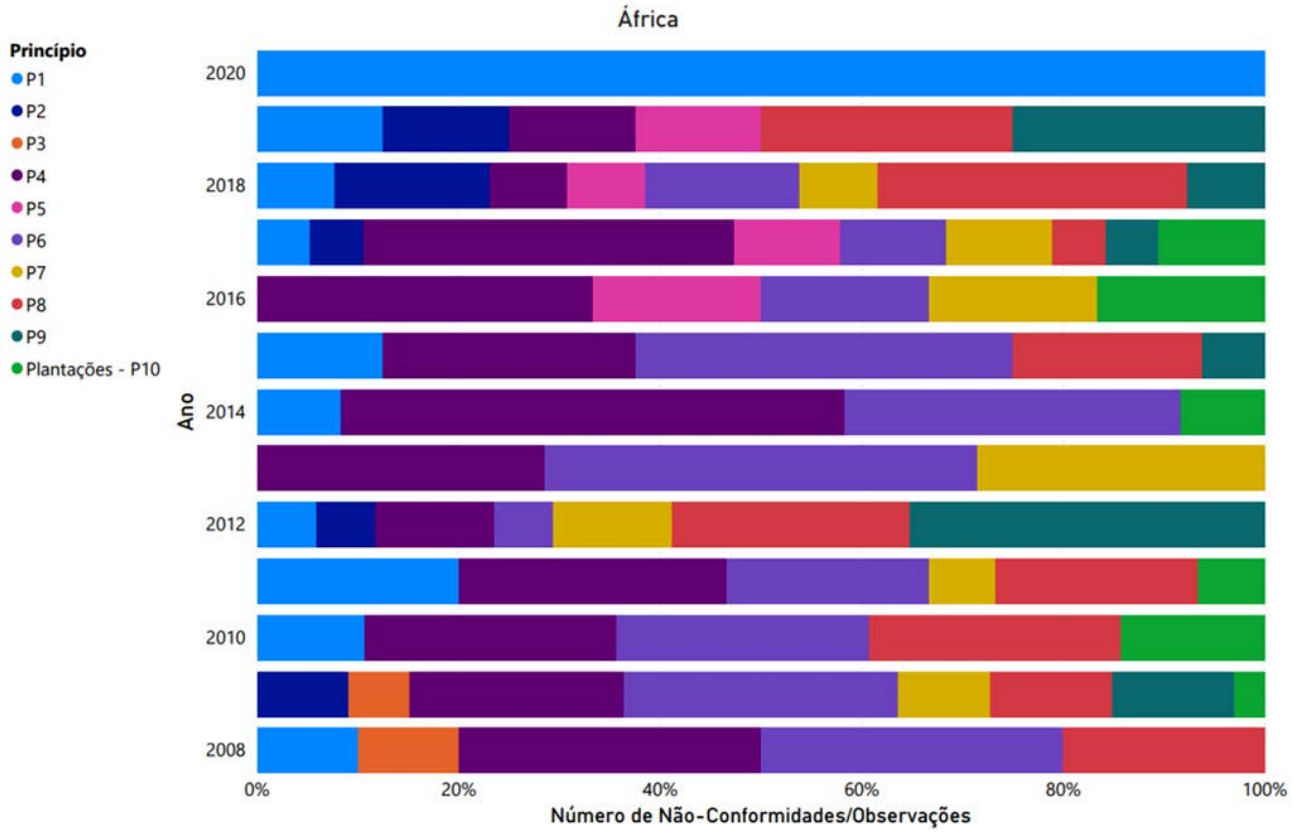


P1: Princípio 1 - Conformidade com as leis e princípios FSC®
P2: Princípio 2 - Posse, direitos e responsabilidades de uso
P3: Princípio 3 - Direitos dos povos indígenas
P4: Princípio 4 - Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores
P5: Princípio 5 - Benefícios da floresta
P6: Princípio 6 - Impacto ambiental
P7: Princípio 7 - Plano de manejo
P8: Princípio 8 - Monitoramento e avaliação
P9: Princípio 9 - Manutenção de florestas de alto valor de conservação
P10: Princípio 10 - Plantações

Figura 10. Não conformidades e observações emitidas entre 2005-2020, para 43 empreendimentos certificados de teca (encerrados, suspensos e válidos) pelo FSC®, na Ásia.
NCR: relatório de não conformidade.
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

Na África, há um período mais curto de empreendimentos com plantios de teca certificados, sendo iniciado somente em 2001, na África do Sul e com relatórios de Resumo Público disponíveis a partir de 2008. Para o período de 2008-2020, foram identificadas 185 não conformidades e observações (Figura 8C) em seis empreendimentos africanos certificados, sendo as mais expressivas para África do Sul (103), Gana (50) e Uganda (32). Neste caso, a maior frequência

de não conformidades e as observações puderam ser verificadas nos seguintes Princípios: 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores) com 26%; 6 (Impacto ambiental) com 26% e 8 (Monitoramento e avaliação) com 22%. Embora não tenham sido identificadas não conformidades e observações no Princípio 6, em 2019 e 2020 e, no Princípio 8, em 2013, 2014, 2016 e 2020, ainda assim esses dois somaram com o Princípio 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores), 73% das não conformidades e das observações emitidas durante o período 2008-2020. Em 2014, 50% das não conformidades e observações identificadas foram no Princípio 4. O Princípio 3 (Direitos dos povos indígenas) é o que apresentou o menor número de não conformidades e observações identificadas ao longo dos anos (16%), que se resumem aos primeiros anos da certificação na região (2008-2009) (Figura 11).



P1: Princípio 1 - Conformidade com as leis e princípios FSC®
P2: Princípio 2 - Posse, direitos e responsabilidades de uso
P3: Princípio 3 - Direitos dos povos indígenas
P4: Princípio 4 - Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores
P5: Princípio 5 - Benefícios da floresta
P6: Princípio 6 - Impacto ambiental
P7: Princípio 7 - Plano de manejo
P8: Princípio 8 - Monitoramento e avaliação
P9: Princípio 9 - Manutenção de florestas de alto valor de conservação
P10: Princípio 10 - Plantações

Figura 11. Não conformidades e observações emitidas entre 2008-2020, para seis empreendimentos certificados de teca (encerrados, suspensos e válidos) pelo FSC®, na África.
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

Um recorte para uma análise em nível de Critério foi realizado com base nos três Princípios com maior número de não conformidades e de observações para América Latina, Ásia e África (Figura 12). Embora na Ásia o Princípio 6 (Impacto ambiental) tenha apresentado o maior número de não conformidades e de observações, sendo o inverso do que foi verificado para a América Latina e África (Figura 8A e 8C), observa-se que, em geral, as principais não conformidades foram identificadas no Princípio 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores), associadas ao critério 4.2 que aborda a questão de saúde e de segurança dos trabalhadores. Em seguida, na Ásia e na África, no Princípio 6 (Figura 12B e 12C), as principais não conformidades estão associadas ao Critério 6.6, voltadas ao uso de produtos químicos no controle de pragas e doenças. Na América Latina, as não conformidades e as observações pertinentes a esse tema estão em quarto lugar no ranqueamento (Figura 12A).

Com relação à graduação das não conformidades, o período vigente para a sua resolução depende e varia de acordo com a sua gravidade. Não conformidades maiores que representam falhas graves ou sistêmicas devem ser resolvidas imediatamente ou em um período de até 90 dias; já as não conformidades menores, falhas pontuais e observações terão um prazo de 12 meses para serem resolvidas, ou seja, até a próxima auditoria de monitoramento Forest Stewardship Council (2009). Ao se considerar todas as não conformidades identificadas, 63% correspondem a não conformidades menores, 24% são observações e somente 13% não conformidades maiores. Índia (27%), Nicarágua (22%), Laos (21%) e Sri Lanka (20%) são os países com maior porcentagem de não conformidades maiores (Figura 13A). Embora três Princípios: 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores), 6 (Impacto ambiental) e 8 (Monitoramento e avaliação) somem 60%, 50% e 73% das não conformidades e observações da América Latina, Ásia e África, respectivamente, observa-se que a maior porcentagem de não conformidades categorizadas como maiores foi identificada no Princípio 9 (22% do total) (Figura 13B).

Um enfoque sobre o desempenho das empresas com plantios de teca certificados pelo FSC® no Brasil, mostrou que os três Princípios com maior número de não conformidades e observações foram os de número 4, 6, e 8 (Figura 14A), sendo idênticos aqueles da América Latina (Figura 8A). Um detalhamento por meio dos Critérios identificou que 30% das não conformidades e de observações do Princípio 4 (Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores) corresponderam aos temas dos Critérios 4.2 (questões sobre saúde e segurança dos trabalhadores) e 4.4 (impacto social). O Princípio 1, mesmo não estando dentre os mais significativos em número de não conformidades e de observações, mostrou-se que, dentre as 32 não conformidades, 25 delas foram atribuídas somente ao Critério 1.1 (referente ao cumprimento da legislação). Com relação ao Princípio 8 (Monitoramento e Avaliação), foram associadas não conformidades e observações ao Critério 8.2 (monitoramentos ambientais,

sociais e econômicos) e, no Princípio 6 (Impactos Ambientais), aos Critérios 6.6 (uso de químicos) e 6.7 (gerenciamento de produtos químicos e resíduos) (Figura 14B). Ao se considerar as 309 não conformidades e observações identificadas, 60% correspondem a não conformidades menores, 29% são observações e somente 11% não conformidades maiores (Figura 14C).

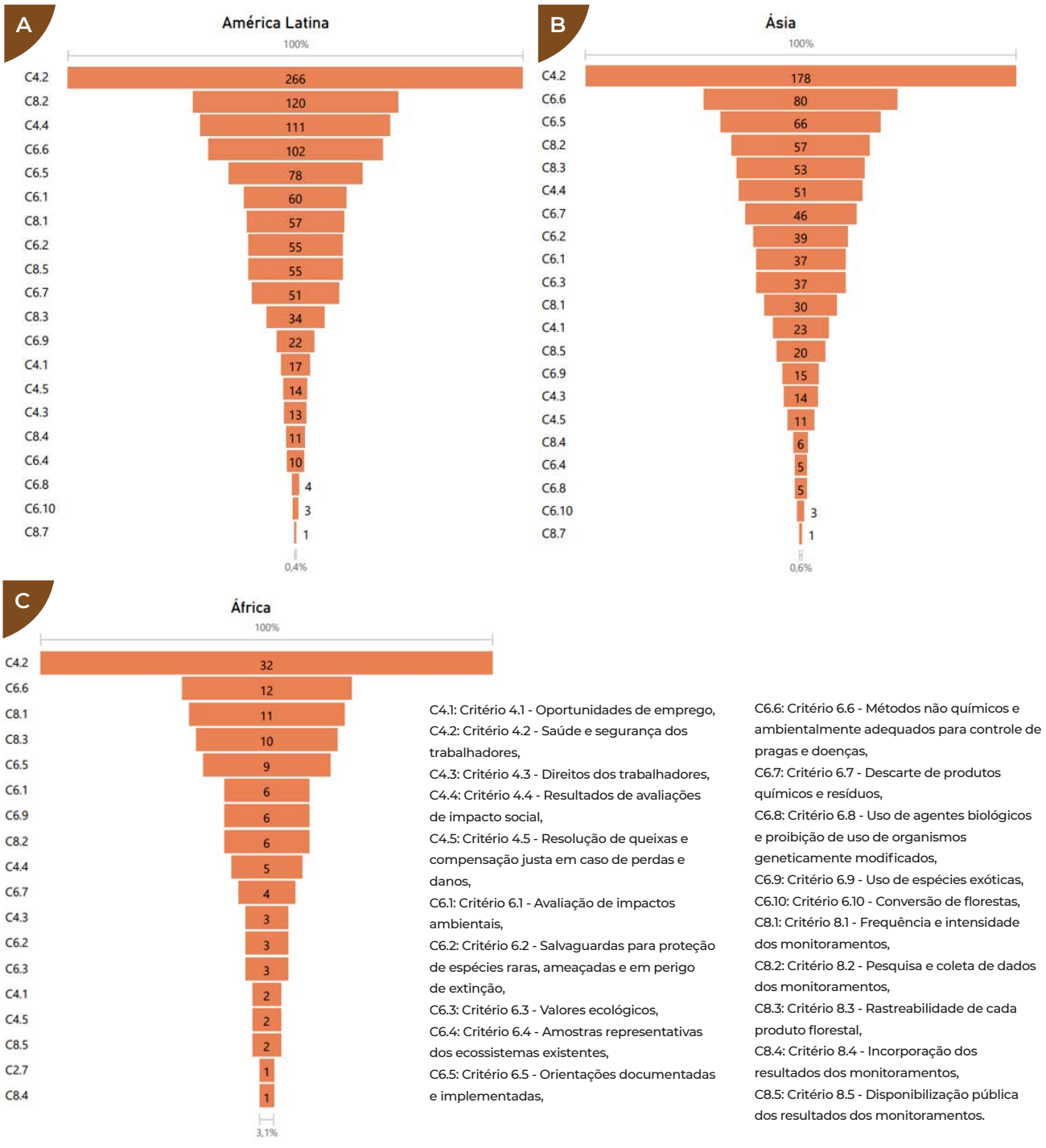
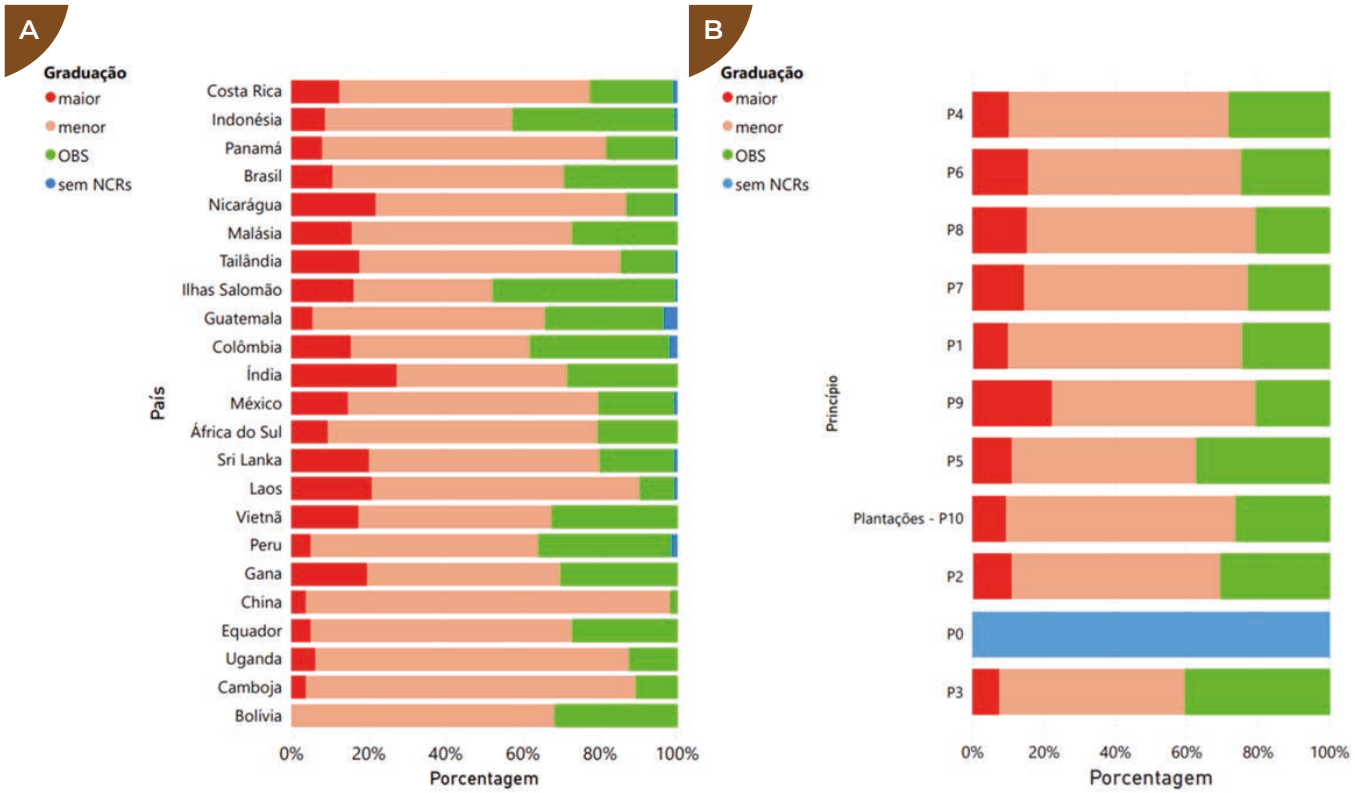


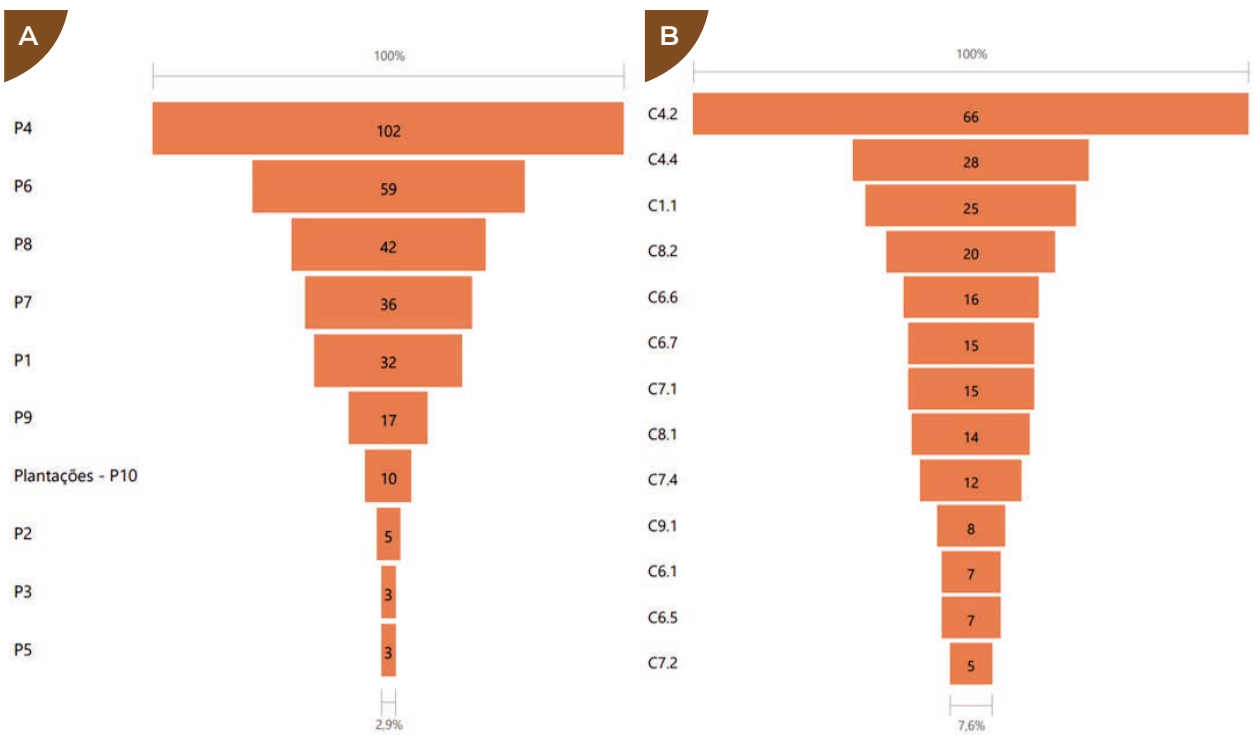
Figura 12. Não conformidades e observações identificadas nos Critérios dos Princípios 4, 6 e 8 do FSC® para América Latina (A), Ásia (B) e África (C), em um total de 120 empreendimentos certificados de teca (encerrados, suspensos e válidos), no período 2005-2020.

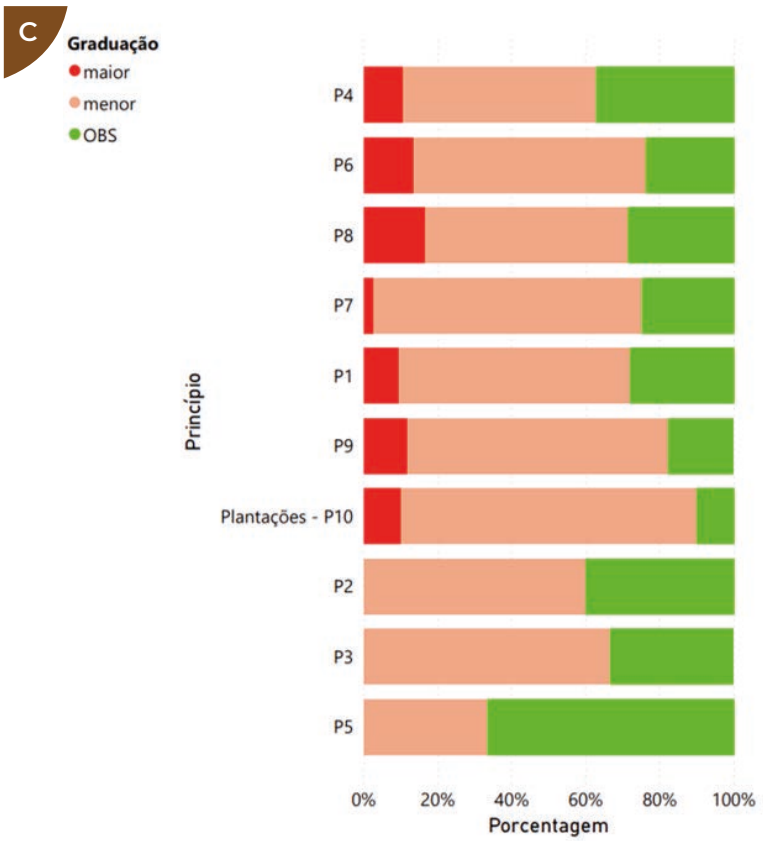
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).



P1: Princípio 1 - Conformidade com as leis e princípios FSC®
P2: Princípio 2 - Posse, direitos e responsabilidades de uso
P3: Princípio 3 - Direitos dos povos indígenas
P4: Princípio 4 - Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores
P5: Princípio 5 - Benefícios da floresta
P6: Princípio 6 - Impacto ambiental
P7: Princípio 7 - Plano de manejo
P8: Princípio 8 - Monitoramento e avaliação
P9: Princípio 9 - Manutenção de florestas de alto valor de conservação
P10: Princípio 10 - Plantações

Figura 13. Graduação das não conformidades e observações identificadas por país (A) e Princípios do FSC® (B), em um total de 120 empreendimentos certificados de teca (encerrados, suspensos e válidos), no período 2005-2020.
NCR: relatório de não conformidade.
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).





P1: Princípio 1 - Conformidade com as leis e princípios FSC®,
P2: Princípio 2 - Posse, direitos e responsabilidades de uso,
P3: Princípio 3 - Direitos dos povos indígenas,
P4: Princípio 4 - Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores,
P5: Princípio 5 - Benefícios da floresta,
P6: Princípio 6 - Impacto ambiental,
P7: Princípio 7 - Plano de manejo,
P8: Princípio 8 - Monitoramento e avaliação,
P9: Princípio 9 - Manutenção de florestas de alto valor de conservação,
P10: Princípio 10 - Plantações,
OBS: Observações.
C1.1: Critério 1.1 - Leis nacionais e locais,
C4.2: Critério 4.2 - Saúde e segurança dos trabalhadores,
C4.4: Critério 4.4 - Resultados de avaliações de impacto social,
C6.1: Critério 6.1 - Avaliação de impactos ambientais,
C6.5: Critério 6.5 - Orientações documentadas e implementadas,
C6.6: Critério 6.6 - Métodos não químicos e ambientalmente adequados para controle de pragas e doenças,
C6.7: Critério 6.7 - Descarte de produtos químicos e resíduos,
C7.1: Critério 7.1 - Plano de manejo,
C7.2: Critério 7.2 - Revisão do Plano de manejo,
C7.4: Critério 7.4 - Disponibilização pública dos elementos do Plano de manejo,
C8.1: Critério 8.1 - Frequência e intensidade dos monitoramentos,
C8.2: Critério 8.2 - Pesquisa e coleta de dados dos monitoramentos,
C9.1: Critério 9.1 - Presença de Florestas de Alto Valor de Conservação.

Figura 14. Total de não conformidades e observações identificadas por Princípio (A), Critério (B) e Graduação das não conformidades e observações (C) identificadas para as empresas certificadas no Brasil (encerrados e válidos), pelo FSC®, durante o período de 2007-2020.
Fonte: Forest Stewardship Council (2020).

Considerações finais

O princípio básico da certificação florestal é estimular a adoção voluntária das práticas de manejo mais sustentáveis, aliado ao propósito de promover o acesso aos mercados mais exigentes. Até o momento, a área certificada de plantios de teca com manejo florestal pelo FSC® ainda é relativamente pequena, em relação ao total de área plantada no mundo e em relação às áreas naturais de teca. No entanto, parece ser evidente que a exigência do mercado internacional é a propulsora da crescente demanda por plantios certificados. No Brasil, a área de plantios de teca certificada é bastante expressiva quando comparada àquela do cenário mundial.

Avaliar os impactos da certificação de manejo florestal pelo FSC® não é uma tarefa simples e direta. Cada empreendimento certificado possui suas particularidades em termos ambientais, sociais e econômicos, que muitas vezes necessitam de análises mais completas e detalhadas, com o envolvimento de vários agentes, bem como uma comparação com empreendimentos não certificados. Poucos estudos têm realizado avaliações in situ pela sua complexidade e pela falta de recursos financeiros. Como alternativa, são realizadas análises com dados secundários, por meio dos chamados relatórios do Resumo Público, decorrentes dos resultados das auditorias. Esses relatórios disponíveis publicamente auxiliam no processo de transparência sobre as práticas de manejo florestal realizadas pelos empreendimentos.

Com base nesses resultados de auditoria, nas três regiões mundiais com áreas de plantios de teca, com manejo florestal certificado, são identificados os mesmos temas, demonstrando que, independentemente da região, o padrão de certificação FSC® contribui para a implementação e melhoria de boas práticas de manejo florestal, de maneira uniforme pelo mundo. Com certeza, a análise evidencia como a certificação traz um olhar diferenciado para as questões voltadas aos trabalhadores florestais, em termos de saúde e de segurança ocupacional. Estas boas práticas ficam ainda mais evidentes quando se considera que, no setor rural, ainda existem casos de trabalhadores informais e condições inadequadas de alimentação, transporte e uso de equipamentos de proteção individual. Grupos de pequenos produtores, enquadrados na categoria SLIMF, muitas vezes são os mais vulneráveis com a contratação de mão de obra, pois envolve maiores custos e falta de informação. Em termos ambientais, os resultados demonstram que o uso de produtos químicos para o controle de insetos-pragas e doenças também traz o enfoque do FSC®, com a preocupação em termos de quais produtos são utilizados, suas categorias toxicológicas, bem como medidas de

redução de uso. Outro tema de grande importância consiste nas medidas de monitoramento e de avaliação de todo processo de gestão dos empreendimentos, visando conhecer cada impacto e no intuito de prevenir, minimizar e, ou mitigar impactos negativos, por meio da análise crítica.

É importante entender que a certificação de manejo florestal FSC® não é a solução para todos os problemas. Ainda existem muitos desafios pela frente, visto que novos "Indicadores Genéricos Internacionais" foram desenvolvidos para promover novas mudanças. No entanto, deve-se entender que a certificação, além de ser uma ferramenta para regular o comportamento de produtores florestais, também influencia o comportamento dos consumidores, em adquirir produtos com salvaguardas sociais, ambientais e econômicas, promovendo a sustentabilidade.

Referências

APPANAH, S. (ed.). **Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests. Bangkok**, Thailand: FAO/RECOFTC, 2016. 200 p. Disponível em: https://www.recoftc.org/sites/default/files/publications/resources/recoftc-0000150-0001-en.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

BASS, S.; THORNBER, K.; MARKOPOULOS, M.; ROBERTS, S.; GRIEG-GRAN, M. **Certification's impacts on forests, stakeholders and supply chains**. London, UK: International Institute for Environment and Development, 2001. 129 p.

BURNS, S. L.; YAPURA, P. F.; GIESSEN, L. Land use policy state actors and international forest certification policy: coalitions behind FSC and PEFC in federal Argentina. **Land Use Policy**, v. 52, p. 23-29, 2016.

CARLSON, A.; PALMER, C. A qualitative meta-synthesis of the benefits of eco-labeling in developing countries. **Ecological Economics**, v. 127, p. 129-145, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.020.

CUBBAGE, F.; DIAZ, D.; YAPURA, P.; DUBE, F. Impacts of forest management certification in Argentina and Chile. **Forest Policy and Economics**, v. 12, p. 497-504, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.06.004.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019 = Report 2019**. Brasília, DF, 2019. 79 p. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

IMAFLORA. Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. **Does certification make a difference**? Piracicaba: Imaflora, 2009. 96 p.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: padrão harmonizado entre as certificadoras**. São Paulo, SP, 2014. 53 p. (FSC. FSC-STD-BRA-01-2014 V1-1). Disponível em: https://www.sysflor.com.br/wp-content/uploads/2018/04/FSC-STD-BRA-01-2014-V1-1-PT_Plantacoes_Harmonizado.pdf. Acesso em: 3 ju. 2021.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Certificação de cadeia de custódia FSC**. Bonn, 2011. 37 p. (FSC. FSC-STD-40-004 V3-0).

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Facts & figures**. Bonn, 2020. Disponível em: https://fsc.org/en/facts-figures. Acesso em: 20 jul. 2020.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Padrão de certificação FSC para o manejo florestal em pequena escala e de baixa intensidade**. São Paulo, SP, 2013. 66 p. (FSC. FSC-STD-BRA-03-2013 V3-2). Disponível em: http://br.fsc.org/download.verso-final-slimf-3-0-revisado.107.htm. Acesso em: 3 jun. 2021.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Principles and criterias for forest stewardship**. Bonn, 2015. 32 p. Disponível em: https://ic.fsc.org/file-download.fsc-principles-and-criteria-for-forest-stewardship-fsc-std-01-001-v5-2-en.a-2097.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Requisitos para o consumo de madeira controlada FSC**. Bonn, 2017. 69 p. (FSC. FSC-STD-40-005 V3-1). Disponível em: https://br.fsc.org/pt-br/polticas-e-padres/normas-em-portugus. Acesso em: 3 jun. 2021.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Standard**: forest management evaluations. Bonn, 2009. 27 p. (FSC. FSC-STD-20-007). Disponível em: https://fsc.org/en/document-centre/documents/retrieve/f3f21867-5d4f-4679-acb4-2afd28d2f939. Acesso em: 15 jul. 2020.

FUJIWARA, T.; AWANG, S. A.; WIDAYANTI, W. T.; SEPTIANA, R. M.; HYAKUMURA, K.; SATO, N. Effects of national community-based forest certification on forest management and timber marketing: a case study of Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonesia. **International Forestry Review**, v. 17, n. 4, p. 448-460, 2015. DOI: https://doi.org/10.1505/146554815817476422.

GRAUDAL, L.; MOESTRUP, S. Genetic resources conservation and, management. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. p. 19-29. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

HALALISAN, A. F.; IORAS, F.; KORJUS, H.; AVDIBEGOVIC, M.; MARIC, B.; MALOVRH, S. P.; ABRUDAN, I. V. An analysis of forest management non-conformities to FSC standards in different european countries. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 44, n. 2, p. 634-639, 2016. DOI: https://doi.org/10.15835/nbha44210263.

MEIJAARD, E.; SHEIL, D.; GUARIGUATA, M. R.; NASI, R.; SUNDERLAND, T.; PUTZEL, L. **Ecosystem services certification**: opportunities and constraints. Bogor: CIFOR. 2011. 72 p. (CIFOR. Occasional paper, 66). Disponível em: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-66.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; NGUYEN, D. K.; LAITY, R. **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Canberra: ACIAR, 2015. 92 p. (ACIAR. Technical reports, 85). Disponível em: https://aciar.gov.au/publication/technical-publications/planted-teak-global-production-markets. Acesso em: 15 jul. 2021.

NUSSBAUM, R.; JENNINGS, S.; GARFORTH, M. **Assessing forest certification schemes**: a practical guide. UK: Proforest, 2002. 60 p.

KHAING, N.; MIN OO, M.; TUN, T. N.; LWIN, O.; MINN, Y.; KLEINE, M. **Natural teak forests**: siviculture and stand management. Vienna: IUFRO, p. 39-47, 2017. (IUFRO. IUFRO World series, 36)

KOLLERT, W.; KLEINE, M. (ed.). **The global teak study**: analysis, evaluation, and future potential of teak resources. Viena, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO. IUFRO World series volume, 36). Disponível em: https://www.iufro.org/uploads/media/ws36.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

ORDÓÑEZ, Y. Verificación, certificación y responsabilidade social corporativa. In: CAMINO, R. de; MORALES, J. P. (ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina**: mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2013. p. 296-311. (CATIE. Serie técnica. Informe técnico, 397).

RAFAEL, G. C.; FONSECA, A. F., JACOVINE, A. G. Non-conformities to the Forest Stewardship Council (FSC) standards: empirical evidence and implications for policy-making in Brazil. **Forest Policy and Economics**, v. 88, p. 59-69, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.12.013.

TOSUN, J. Forest certification in Europe: exploring the determinants of cross-country variations. **Marmara Journal of European Studies**, v. 20, n.1, p.177-197, 2012.

ZERBINI, F. **Cenário da madeira FSC no Brasil 2012-2013**. São Paulo, SP: FSC, 2014. 43 p.

Embrapa
Florestas

CGPE: 018110

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO