

Pínus na Silvicultura Brasileira

Jarbas Yukio Shimizu

Editor

ISBN 978-85-89281-26-3



Embrapa

Pínus na Silvicultura Brasileira

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

Pínus na Silvicultura Brasileira

Jarbas Yukio Shimizu
Editor

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Dalva Luiz de Queiroz
Santana, Edilson Batista de Oliveira, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski,
José Alfredo Sturion, Maria Augusta Doetzer Rosot, Sérgio Ahrens

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Foto da Capa: Jarbas Yukio Shimizu

1ª edição

1ª impressão (2008): 500 exemplares

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

Pínus na silvicultura brasileira / Jarbas Yukio Shimizu, editor. –

Colombo : Embrapa Florestas, 2008.

223 p.

ISBN 978-85-89281-26-3

1. Pínus - Brasil. 2. Silvicultua. 3. Praga de planta. 4. Madeira -
Tecnologia. 5. Manejo florestal. 6. Melhoramento genético. I.
Shimizu, Jarbas Yukio.

CDD 634.9751 (21. ed.)

© Embrapa 2008

Editor

Jarbas Yukio Shimizu

Engenheiro Florestal, Doutor

Pesquisador aposentado da

Embrapa Florestas

shimizuj@terra.com.br

Autores

Alexandre Magno Sebbenn

Engenheiro Florestal, Doutor
Instituto Florestal de São Paulo
alexandre.sebbenn@pq.cnpq.br

Ananda Virgínia de Aguiar

Engenheira Agrônoma, Doutora
Pesquisadora da *Embrapa Florestas*
ananda@cnpf.embrapa.br

Edilson Batista de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da *Embrapa Florestas*
edilson@cnpf.embrapa.br

Edson Tadeu Iede

Biólogo, Doutor
Pesquisador da *Embrapa Florestas*
iedeet@cnpf.embrapa.br

Jarbas Yukio Shimizu

Engenheiro Florestal, Doutor
Pesquisador aposentado da
Embrapa Florestas
shimizuj@terra.com.br

Jorge Ribaski

Engenheiro Florestal, Doutor
Pesquisador da *Embrapa Florestas*,
ribaski@cnpf.embrapa.br

Marco Tuoto

Engenheiro Florestal, Mestre
STCP Engenharia de Projetos Ltda.
mtuoto@stcp.com.br

Nádia Caldato

Bióloga
Técnica do FUNCEMA
nadia@cnpf.embrapa.br

Renato Antonio Dedecek

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da *Embrapa Florestas*
dedecek@cnpf.embrapa.br

Susete do Rocio Chiarello Penteadó

Bióloga, Doutora
pesquisadora da *Embrapa Florestas*
susete@cnpf.embrapa.br

Vitor Afonso Hoeflich

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Professor da UFPR e
Pesquisador aposentado da *Embrapa Florestas*.
hoeflich@ufpr.br

Washington Luiz Esteves Magalhães

Químico, Doutor
Pesquisador da *Embrapa Florestas*
wmagalha@cnpf.embrapa.br

Wilson Reis Filho

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da Epagri/*Embrapa Florestas*
wilson@cnpf.embrapa.br

Apresentação

A capacidade de produção sustentável das florestas brasileiras é estimada em cerca de 390 milhões de metros cúbicos anuais, dos quais, aproximadamente, 47,2 % (183,6 milhões de m³) são de plantações comerciais de eucaliptos e pinus. Em 2006, cerca de 26,7 % dessa produção referiu-se à madeira de pinus que, além de atender ao mercado interno em vários segmentos socioeconômicos, propiciou ao Brasil o posto de maior exportador mundial de compensados de pinus.

Como se vê, as plantações de pinus têm uma grande importância para o setor florestal brasileiro, principalmente por poderem agregar valor desde o pequeno produtor até os vários segmentos industriais como os de laminação, serraria, papel e celulose, chapas e geração de energia. Apesar de a produção brasileira de pinus concentrar-se nas regiões Sul e Sudeste, abrangendo uma área de aproximadamente 1,9 milhão de hectares, existe plena condição para que a mesma se estenda pelas regiões tropicais, com a utilização de espécies adequadas.

A produtividade dos plantios de pinus vem seguindo uma tendência de ganhos expressivos nos últimos anos, passando de 25 m³/ha.ano em 1990 para mais de 30 m³/ha.ano em 2006, representando um crescimento de 20 % no período. No entanto, não é possível sustentar os níveis atuais de produção, nem o crescimento da indústria florestal, com a base florestal existente. Por esse motivo, a ampliação da área com novas plantações florestais de pinus é fundamental. No entanto, os

plantios a serem implementados precisam estar em um patamar tecnológico que permita a produção de matéria-prima de melhor qualidade para assegurar a competitividade dos produtos florestais brasileiros em todos os mercados. Como contribuição para tal, além de suas pesquisas, a *Embrapa Florestas* lança este livro.

Pinus na Silvicultura Brasileira é uma obra que trata dos aspectos ligados à socioeconomia, controle integrado de pragas, limitações físicas do solo para o seu cultivo, melhoramento genético e produção em sistemas silvipastoris. Esta última é uma técnica que vem sendo adotada para o plantio de pinus, principalmente na Região Sul do Brasil, onde a atividade pastoril está presente e faz parte da cultura regional. Nela são destacadas, também, as principais espécies com potencial para utilização com fins econômicos no País, enfatizando as limitações e as práticas de manejo recomendadas para as mesmas. Por fim, trata da agregação de valor à madeira de pinus mediante tratamentos para melhorar suas propriedades físicas e mecânicas.

Neste livro, são abordados, também, os aspectos mais relevantes ligados às limitações e desafios da indústria florestal brasileira, cuja solução poderá fortalecer as bases para otimizar a utilização do seu potencial, com base no *Pinus*, e consolidar o estabelecimento de um segmento produtivo estratégico para o desenvolvimento social e econômico do País.

Moacir José Sales Medrado
Pesquisador da *Embrapa Florestas*

Prefácio

Um livro, uma história, uma instituição, uma vida: Assim poderíamos referendar o livro "Pinus na Silvicultura Brasileira", que está sendo disponibilizado à sociedade brasileira, no ano em que a pesquisa florestal na Embrapa completa 30 anos. Ao reunir pesquisadores, autoridades em suas especialidades, para discorrer sobre a importância do gênero *Pinus* para o Brasil, abordando espécies e meio físico, planejamento e manejo integrado de pragas, potencial para uso em sistemas silvipastoris, produção de resinas e tecnologia da madeira, assim como uma análise da indústria à base de madeira de *Pinus*, o editor reúne e oferece

aos leitores, sejam eles pesquisadores, professores, estudantes ou empresários do setor, uma gama de informações preciosas, muitas das quais geradas em experimentações e adquiridas em observações efetuadas ao longo da sua carreira como pesquisador da *Embrapa Florestas*. Esta obra traz, certamente, é uma das mais importantes coletâneas de informações que podemos encontrar na literatura, sobre a silvicultura do gênero *Pinus* no Brasil.

Helton Damin da Silva
Chefe-Geral
Embrapa Florestas

Sumário

1 Introdução	15
2 A Indústria Florestal Brasileira Baseada em Madeira de <i>Pinus</i> : Limitações e Desafios	17
3 Espécies de <i>Pinus</i> na Silvicultura Brasileira	49
4 Meio Físico para o Crescimento de <i>Pinus</i> – Limitações e Manejo	75
5 Planejamento e Manejo da Plantação de <i>Pinus</i>	111
6 Manejo Integrado de Pragas em <i>Pinus</i>	131
7 Ocorrência de Formigas Cortadeiras em <i>Pinus</i>	165
8 Potencialidade do Gênero <i>Pinus</i> para Uso em Sistemas Silvopastoris	173
9 Produção de Resina de <i>Pinus</i> e Melhoramento Genético	193
10 Tecnologia para Agregação de Valor à Madeira de <i>Pinus</i>	207

Introdução

Jarbas Yukio Shimizu

Espécies de *Pinus* vêm sendo plantadas no Brasil há mais de um século. Muitas delas foram trazidas pelos imigrantes europeus, para fins ornamentais e para produção de madeira. As primeiras introduções de que se tem notícia foram estabelecidas no Rio Grande do Sul, com *Pinus canariensis*, proveniente das Ilhas Canárias, em torno de 1880.

Em 1948, por iniciativa do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas as espécies americanas conhecidas nas origens como “pinheiros amarelos”, que incluem *P. palustris*, *P. echinata*, *P. elliotii* e *P. taeda*. Dentre essas, as duas últimas se destacaram pela facilidade nos tratamentos culturais, rápido crescimento e reprodução intensa no Sul e Sudeste do Brasil. Desde então, outras espécies têm sido introduzidas não só dos Estados Unidos, mas, também do México, da América Central, das ilhas caribenhas e da Ásia.

A sociedade brasileira passou a conviver mais intensamente com o gênero *Pinus* a partir dos anos 1960, quando extensas áreas começaram a ser plantadas com *P. elliotii* e *P. taeda*, nas regiões Sul e Sudeste. Assim, para o público em geral, ficou a impressão de que os atributos do gênero se resumiam nas

qualidades e defeitos inerentes a essas duas espécies. Por exemplo, ambas são relativamente resistentes à geada e proporcionam altos rendimentos em madeira nas regiões que englobam: 1) para *P. taeda*, o planalto da Região Sul, até o norte do Paraná; e 2) para *P. elliotii*, a Região Sul como um todo, parte do Sudeste, no Estado de São Paulo, e nas regiões serranas do sul de Minas Gerais. Outras espécies como *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, *P. patula*, *P. kesiya* e *P. tecunumanii* são conhecidas como pínus tropicais, com grande potencial para produção de madeira e resina nas regiões livres de geadas severas e mesmo sujeitas a alguma deficiência hídrica.

Cada espécie apresenta particularidades quanto à qualidade da madeira, quantidade e qualidade de resina, capacidade de adaptação, resistência aos fatores ambientais, produtividade e outros valores intrínsecos. Neste livro, são abordados os aspectos mais relevantes ligados ao cultivo, manejo, socioeconomia, tecnologia da madeira e implicações ambientais dos pínus no Brasil. Estes poderão constituir as bases para otimizar a utilização do potencial dessas espécies.

A Indústria Florestal Brasileira Baseada em Madeira de *Pinus*: Limitações e Desafios

Marco Tuoto, Vitor Afonso Hoeflich

1. Introdução

O presente capítulo proporciona uma análise única da indústria florestal brasileira, baseada em madeira de pínus, abrangendo a indústria de celulose, painéis reconstituídos, serrado, compensado, remanufaturas de madeira e seu *status quo*. São discutidos os fatores que influenciam o desenvolvimento dos principais segmentos da indústria florestal brasileira, abordando o tema sob a ótica dos mercados interno e externo, levando-se em consideração a competitividade do produto nacional. São analisadas, também, as limitações e os desafios enfrentados pela indústria florestal brasileira para manter seu crescimento e consolidar sua competitividade internacional. Tais limitações e desafios são representados por problemas conjunturais do setor produtivo brasileiro, incluindo o acesso ao crédito, o custo de capital, a promoção do produto nacional e o “Custo Brasil”, além daqueles intrínsecos à própria indústria florestal como o suprimento de matéria-prima, a competição com produtos substitutos, o modelo institucional, entre outros.

São apresentados gráficos e figuras para efeito de comparação, de maneira a acrescentar um aspecto visual do panorama atual da indústria florestal brasileira. Ainda que

sejam detectados tanto aspectos positivos quanto negativos, há possibilidades concretas de crescimento, principalmente através de uma estratégia setorial conjunta entre o setor privado e o público. Isso poderá consolidar e ampliar a posição de destaque da indústria florestal brasileira, fazendo uso de suas vantagens comparativas para fortalecer sua competitividade e, possivelmente, consolidar uma posição de destaque no âmbito mundial.

2. Histórico Recente

Nas décadas de 1950 e 1960, discutia-se, no Brasil, o modelo de desenvolvimento econômico que o país deveria seguir. Existiam, basicamente, duas correntes: uma que vislumbrava um modelo de desenvolvimento econômico baseado na substituição das importações e expansão do mercado doméstico e, outra, que sugeria a adoção de um modelo de desenvolvimento orientado para a exportação. O modelo seguido pelo setor florestal brasileiro foi o da substituição das importações, sobretudo de papel, pela produção doméstica, de forma a dinamizar a economia nacional. Isso ficou evidenciado pelo estabelecimento de um programa governamental de incentivo fiscal para promover investimentos em plantações florestais, o Fiset – Fundo de Investimento

Setorial, que vigorou no período de 1967 a 1989. Este foi desenhado dentro do contexto de uma estratégia nacional para desenvolver determinados segmentos industriais, tidos como essenciais para o país, notadamente as indústrias papelreira e a siderúrgica (TUOTO, 2005).

As plantações florestais de pinus, estabelecidas no Brasil, através do programa de incentivo fiscal durante a década de 1970 e 1980, proporcionaram um aumento abrupto na oferta de madeira que, posteriormente, veio a se caracterizar como um fator indutor do desenvolvimento da indústria florestal brasileira. Em um primeiro momento, as indústrias de celulose e papel foram as mais beneficiadas, em virtude da elevada oferta de madeira oriunda dos desbastes. Somente a partir de meados da década de 1990, com a maturação dos plantios, foi que as indústrias de madeira sólida iniciaram um forte processo de desenvolvimento.

A indústria de produtos de madeira sólida foi marcada, primeiramente, pelo crescimento da produção de serrados. Posteriormente, isso alavancou o desenvolvimento da indústria de remanufaturas de madeira, essencialmente orientada para a exportação. Inicialmente, predominou a geração de produtos de baixo valor agregado como *pallets*, *blocks*, *cut-stocks* e *fencing*. Na segunda metade da década de 1990, a indústria de remanufaturas de madeira sofreu um intenso processo de modernização, a partir da adoção de novas tecnologias para produtos engenheirados do tipo *finger-joint* (molduras, esquadrias, janelas, painéis colados lateralmente, portas etc). Paralelamente, a abundante oferta de madeira de pinus, aliada à incorporação de novas tecnologias, impulsionou o desenvolvimento

da indústria de móveis de madeira sólida, competitiva e, também, voltada ao mercado externo.

A partir da segunda metade dos anos 1990, a indústria brasileira de painéis reconstituídos ampliou sua capacidade produtiva e sofreu um intenso processo de modernização, culminando com a introdução de novos produtos no mercado doméstico, como o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o OSB (*Oriented Strand Board*). Até então, o mercado doméstico de MDF e OSB era suprido com produtos importados. Isso ocorreu no momento em que a oferta tanto de toras de pinus oriunda dos desbastes quanto de resíduos (cavaco, maravalha, pó de serra etc.) aumentou significativamente, garantindo o suprimento de matéria-prima de baixo custo e de excelente qualidade para esse segmento industrial.

Os benefícios auferidos pela indústria de compensados dos incentivos do Fiset ocorreram somente a partir do final da década de 1990. Isto porque, somente a partir desse período é que houve aumento na oferta de toras de pinus de grande diâmetro. Atualmente, o compensado de pinus brasileiro está entre os produtos de madeira sólida mais competitivos no mercado internacional.

Os resultados alcançados pela indústria florestal brasileira mostraram que a política de desenvolvimento adotada foi acertada. Poucos são os segmentos industriais do país que se desenvolveram com tamanha competência. Os resultados superaram as expectativas e demonstraram que a adoção de políticas de longo prazo é essencial para o desenvolvimento do setor florestal.

3. Parque Industrial e Evolução da Produção

O parque industrial brasileiro, orientado ao processamento da madeira de pínus, é altamente diversificado. Evidenciam-se as indústrias de celulose, de painéis reconstituídos, de madeira serrada, de compensado e de remanufaturas de madeira. Cada segmento desses contribuiu com impactos significativos na competitividade do produto nacional de base florestal.

3.1. Celulose

Existem 14 indústrias de celulose de fibra longa (pínus) em operação no Brasil, localizadas nos estados do Paraná e Santa Catarina. Em sua maioria, são empresas de capital nacional, com linhas de produção de pequena escala, defasadas tecnologicamente, produzindo, em média, pouco mais de 100 mil t/ano. A maioria delas é integrada, empregando a celulose produzida para transformação em papel (embalagem e cartão) na própria empresa.

A produção de PAR (pasta de alto rendimento) de pínus é mais pulverizada. São 39 indústrias desse segmento em operação no país, notadamente nos estados do Paraná e Santa Catarina. A maioria destas encontra-se, também, defasada tecnologicamente. Além disso, a escala de produção é muito pequena, gerando apenas 12 mil t/ano, em média, por empresa. A maioria dessas indústrias também é integrada.

A produção brasileira de celulose e PAR, baseada em madeira de pínus, tem sido relativamente estável ao longo das últimas décadas (Figura 1). A taxa de crescimento anual da produção de celulose de fibra longa foi de 1,4% entre 1990 e 2005, enquanto que a da produção de PAR foi ainda menor (1,0%). Esse crescimento é modesto, particularmente quando comparado com a evolução da produção de celulose de fibra curta (eucalipto) que, no mesmo período, teve um crescimento anual da ordem de 7,5%. Isso mostra que, praticamente, todo o investimento na indústria brasileira de celulose tem sido canalizado para produção de celulose de fibra curta.

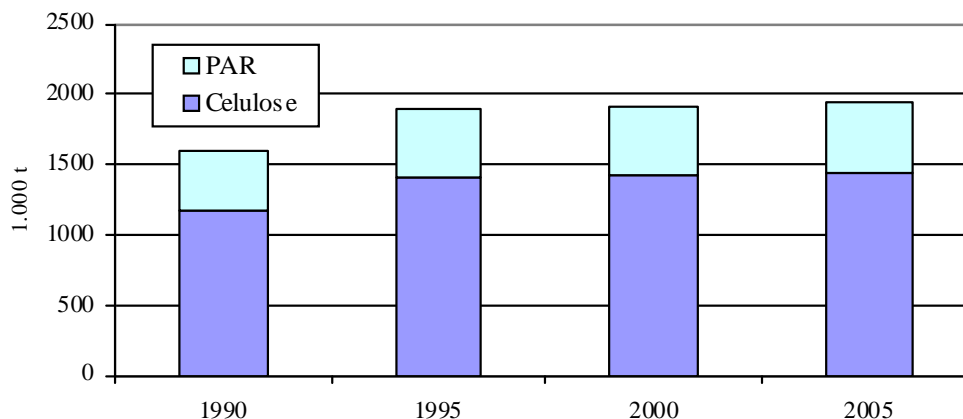


Figura 1. Evolução da produção brasileira de celulose e PAR (pasta de alto rendimento) de fibra longa (pínus). Fonte: BRACELPA (2005).

3.2. Painéis reconstituídos

O parque industrial brasileiro de painéis reconstituídos está concentrado em poucas empresas. Existem apenas oito indústrias (nacionais e estrangeiras) dedicadas à sua produção, localizadas nas regiões Sul e Sudeste. Os tipos de painéis reconstituídos, fabricados no Brasil, são o aglomerado, a chapa dura, o MDF e o OSB. Excetuando-se a indústria de chapa dura, a produção das demais é, predominantemente, baseada em madeira de pínus. Na década de 1990, este segmento apresentou uma forte expansão na capacidade instalada e modernização do parque industrial. Até então, predominavam linhas de produção de pequeno porte e

ultrapassadas tecnologicamente. Além disso, a produção se concentrava em apenas dois tipos de produto: o aglomerado (de baixa qualidade) e a chapa dura.

A modernização das indústrias brasileiras de painéis reconstituídos ocasionou uma mudança no perfil da produção. Tanto o aglomerado quanto a chapa dura vêm perdendo espaço para o MDF desde meados da década 1990 (Figura 2). Isto se intensificou, nos últimos anos, com a expressiva ampliação da capacidade de produção de MDF. Além disso, foi só após 2002 que se iniciou a produção de OSB no Brasil (TUOTO; TAMANHO, 2004).

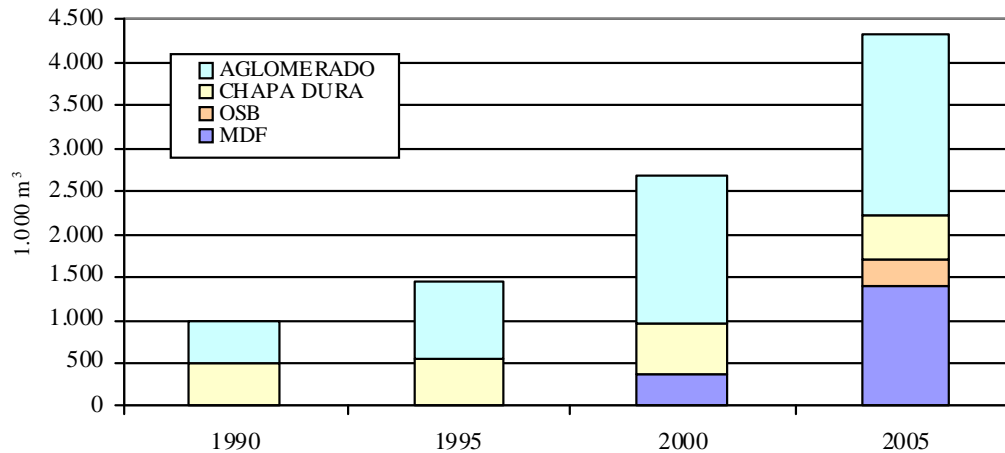


Figura 2. Evolução da produção brasileira de painéis reconstituídos.

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (2006).

A produção brasileira de painéis reconstituídos teve um grande avanço desde 1990. No início dessa década, produzia-se somente 1 milhão de m³, passando-se para 4,3 milhões de m³ em 2005. Isso representa uma taxa de crescimento anual de 10,4%. A produção foi impulsionada pela crescente demanda da indústria moveleira nacional. Em 1996 e 1997, uma parcela significativa do mercado doméstico de painéis reconstituídos, particularmente aglomerado e MDF, foi suprida com produtos importados. Por outro lado, uma grande parte da produção de chapas duras e de OSB, que têm forte penetração na construção civil, foi destinada para a exportação (TUOTO; TAMANHO; 2004).

Os investimentos na modernização do parque industrial brasileiro de painéis reconstituídos aumentaram, substancialmente, a capacidade de produção, além da competitividade do produto brasileiro, em termos tanto de custo de produção quanto de qualidade do produto. Assim, tanto o aglomerado quanto o MDF brasileiros já são reconhecidos internacionalmente pela excelente qualidade apresentada.

3.3. Madeira serrada

Estimativas da ABIMCI (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2005) indicaram a existência de, aproximadamente, 10 mil serrarias em operação no Brasil, dos

quais, somente 2 mil processam madeira de pinus. Estas estão localizadas, principalmente, na Região Sul do país e, em menor quantidade, também nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Estas são, predominantemente, de pequeno porte e se encontram pulverizadas. Nos últimos anos, o número delas tem decrescido, mas, as remanescentes têm aumentado em escala de produção e investido na modernização. Isso se deve, basicamente, ao aumento no custo da matéria-prima (tora de pinus). Os investimentos na incorporação de novas tecnologias nas serrarias estão associados às melhorias no rendimento da transformação da tora para madeira serrada e nos ganhos de produtividade. Porém, apesar da adoção dos recentes avanços tecnológicos, a produtividade ainda está baixa, principalmente quando comparada com os países mais industrializados como, por exemplo, a Finlândia.

Na Finlândia, os constantes investimentos na modernização das linhas de produção das serrarias colocaram a produtividade no patamar dos mais altos do mundo. Em meados de 1980, a produtividade era de 457 m³/homem.ano e, em 2001, já estava próximo a 1.200 m³/homem.ano (Figura 3). O custo médio de um trabalhador para a indústria finlandesa é de US\$2.500,00/mês, incluindo os encargos sociais pagos pelo empregador.

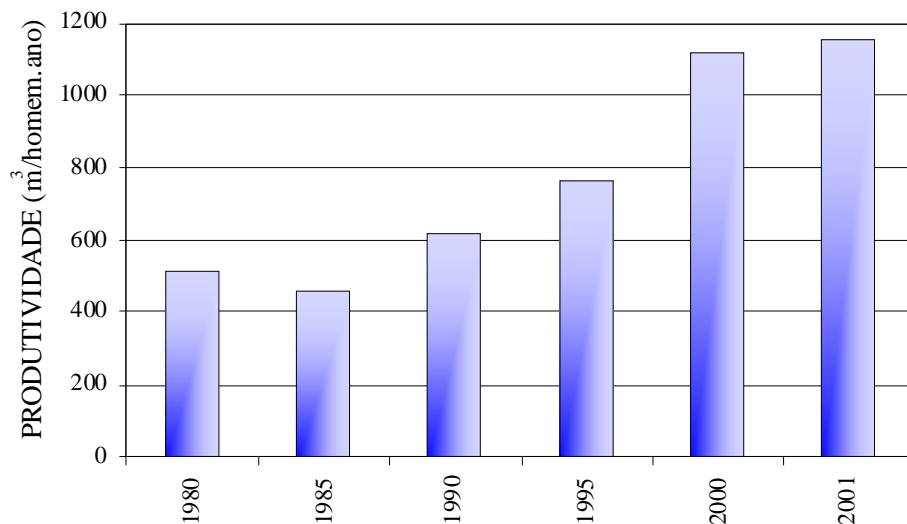


Figura 3. Evolução da produtividade das serrarias na Finlândia.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

No Brasil, os recentes investimentos estrangeiros em serrarias de pínus de grande porte têm dado uma nova dinâmica à indústria brasileira, através da incorporação de tecnologias modernas, integração da produção para o aproveitamento de resíduos (casca, cavaco, pó-de-serra) e agregação de valor à madeira serrada. A produção tem mostrado uma tendência de crescimento desde o início da década de 1990. Em um primeiro momento, a madeira serrada de pínus substituiu, no mercado, a de araucária (pinho), cuja oferta foi abruptamente reduzida nos anos 1980. Somente a partir de meados da década de 1990 é que a madeira de pínus passou a atender novos segmentos consumidores (indústrias de embalagem, de remanufatura de madeira, de móveis, entre outras).

Na década de 1990, a produção brasileira de madeira serrada de pínus mais que duplicou, passando de 3.600.000 m³ em 1990 para 7.500.000 m³ em 2000. Isso representou uma taxa de crescimento anual

de 7,6 % no período. A partir de 2000, houve redução no crescimento, como reflexo da conjuntura macroeconômica associada à redução da oferta de matéria-prima. Mesmo assim, a produção chegou a, aproximadamente, 9.000.000 m³ em 2005 (Figura 4). A maior parte da produção é consumida no mercado doméstico. Desta, uma parcela significativa é transformada em produtos de maior valor agregado que são, posteriormente, destinados à exportação.

Em comparação com a situação brasileira, os operários das serrarias finlandesas produzem, em média, aproximadamente o triplo das serrarias de pínus do Brasil (Figura 5). A reduzida produtividade da indústria brasileira desse segmento está relacionada ao baixo nível de mecanização, automação e capacitação da mão-de-obra. A mão-de-obra nas serrarias brasileiras é intensiva, com salários baixos e, em média, custam para a indústria US\$400,00/mês, incluindo os encargos sociais pagos pelo empregador.

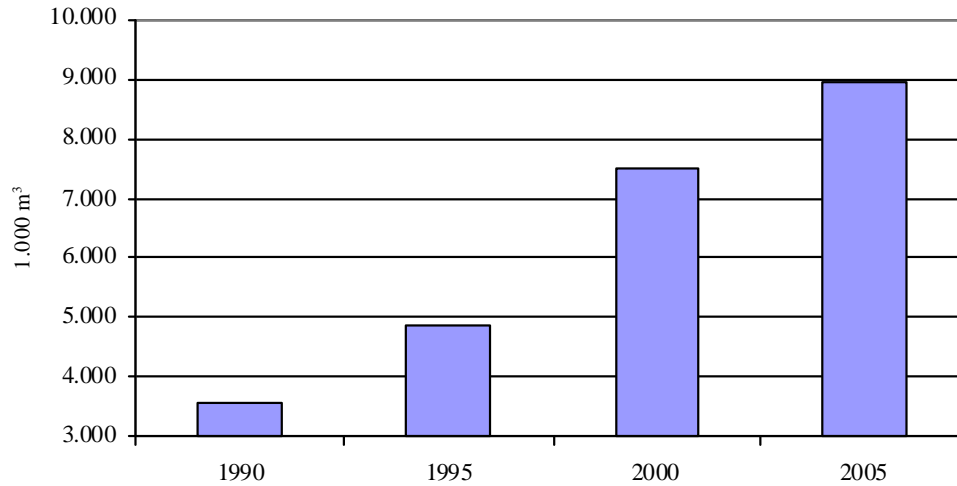


Figura 4. Evolução da produção brasileira de madeira serrada de pinus.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

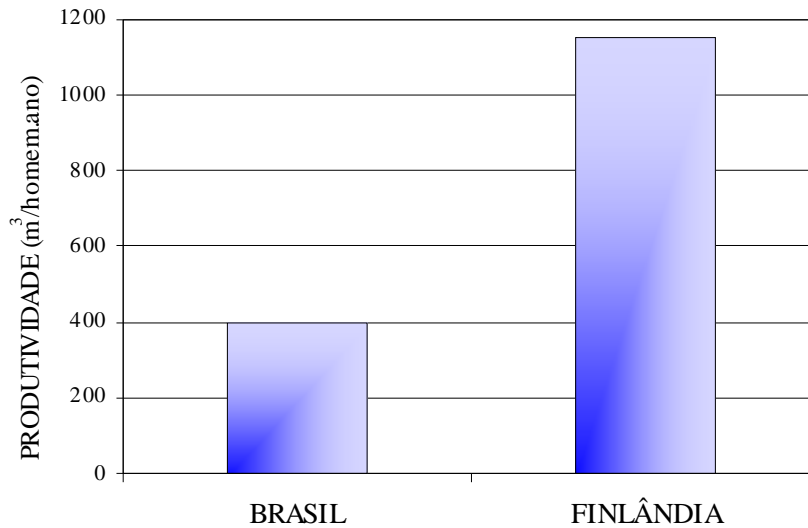


Figura 5. Comparação entre as produtividades das serrarias brasileiras e finlandesas.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

Além do atraso tecnológico do Brasil, o pequeno porte das serrarias é um fator limitante. Serrarias de grande porte são minoria no Brasil. Menos de dez delas têm

capacidade de produção maior que 100 mil m³/ano, enquanto que a capacidade média das que processam pínus é de, aproximadamente, 20 mil m³/ano (Figura 6).

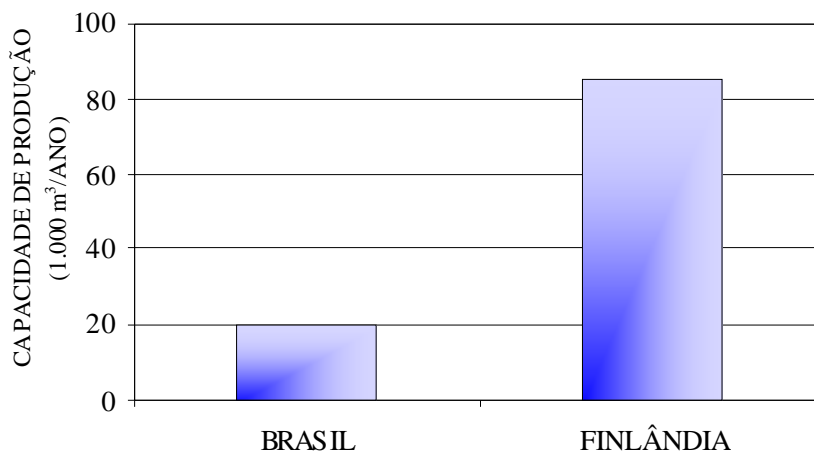


Figura 6. Comparação entre as capacidades de produção das serrarias brasileiras e finlandesas. Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

3.4. Compensado

Existem pouco mais de 100 fábricas de compensado de pínus em operação no Brasil. Elas respondem por uma capacidade de produção instalada da ordem de 3 milhões de m³ anuais. A maioria está instalada na Região Sul, notadamente nos estados do Paraná e Santa Catarina.

No início dos anos 1990, as indústrias desse segmento estavam com linhas de produção tecnologicamente defasadas, com baixo grau de mecanização e automação.

Somente a partir de meados dessa década é que houve investimentos expressivos na modernização das linhas de produção, vislumbrando maior competitividade no mercado internacional. A repercussão foi positiva, pois a produção brasileira mais que triplicou em dez anos (Figura 7). A produção, que era de 670 mil m³ em 1995, passou para, aproximadamente, 2,5 milhões de m³ em 2005. Isso representa uma taxa de crescimento anual da ordem de 14 %. Nenhum outro segmento da indústria florestal no país teve uma taxa de crescimento semelhante.

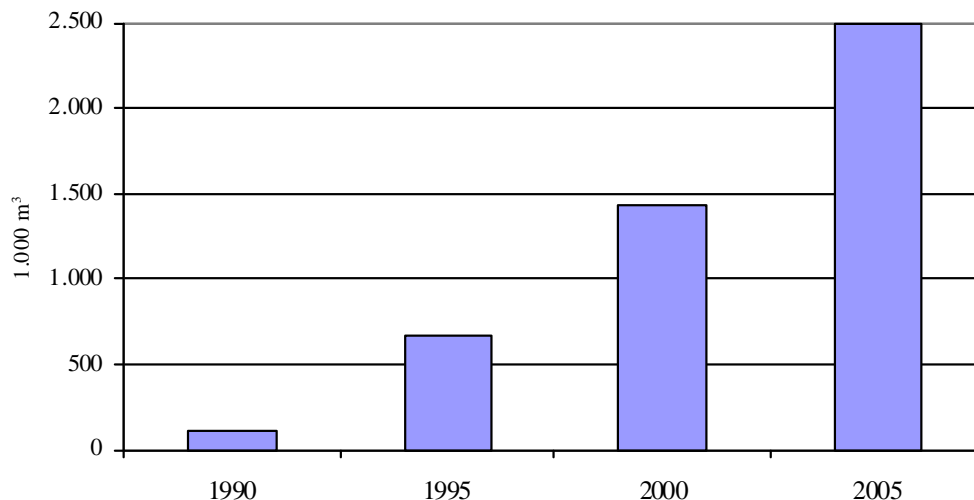


Figura 7. Evolução da produção brasileira de compensados de pinus.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (2005).

A evolução da indústria brasileira de compensado de pinus guarda estreita relação com as exportações, tendo em vista a competitividade do produto brasileiro no mercado internacional. Os volumes destinados ao mercado doméstico são, proporcionalmente, pouco expressivos, em parte, devido à forte competição com os painéis de aglomerado, MDF e OSB.

3.5. Remanufatura de madeira

A indústria brasileira de remanufatura de madeira de pinus surgiu em meados da década de 1990. A produção é diversificada, predominando produtos para uso não-estrutural como molduras, esquadrias, painel colado lateralmente e portas. Em virtude da baixa qualidade da matéria-prima (madeira serrada) empregada nesse segmento,

principalmente com presença de nós, prevalece a geração de produtos engenheirados do tipo *finger-joint* (FJ) e painel colado lateralmente (*edge glued panel* - EGP).

As indústrias de moldura FJ de pinus são em pequeno número e concentradas nos estados do Paraná e Santa Catarina. São pouco mais de 20 produtores e, na maioria dos casos, com produção integrada (a madeira serrada empregada na fabricação de molduras é fornecida pelo próprio produtor). A produção brasileira tem crescido expressivamente, impulsionada, sobretudo, pelas exportações. Até o final da década de 1990, a produção ainda era pequena. A partir de 2000, os volumes passaram a aumentar significativamente e praticamente dobraram entre 2000 e 2005, quando foram produzidos 700 mil m³ (Figura 8).

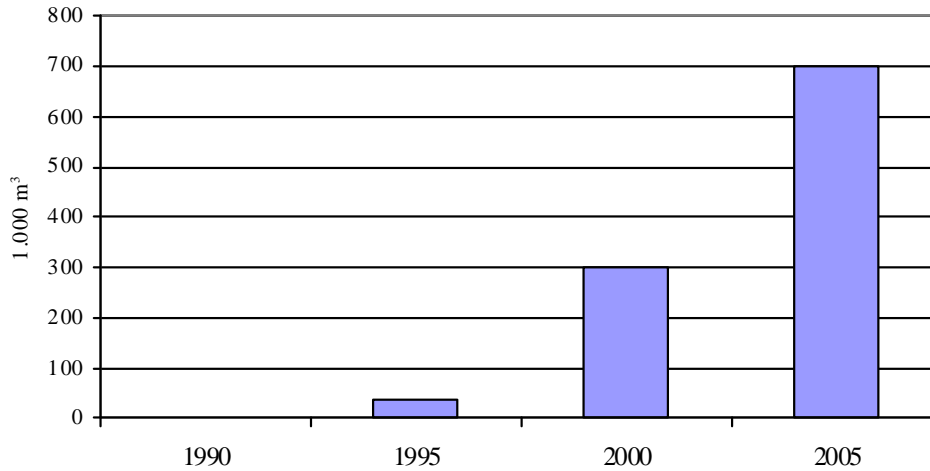


Figura 8. Evolução da produção brasileira de molduras FJ (*finger-joint*) de pinus.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

O painel colado lateralmente é, também, uma importante remanufatura de pinus produzida no Brasil. A sua produção está vinculada às indústrias de móveis de madeira sólida. Os produtores são, quase sempre, integrados e atendem, predominantemente, o mercado externo. A maioria das indústrias está localizada no Estado de Santa Catarina e a produção tem sido impulsionada pela grande

aceitação dos móveis brasileiros de madeira sólida no mercado internacional. Em 1995, a produção desses painéis era de 230 mil m³, passando para 481 mil m³ em 2005 (crescimento de 7,6 % ao ano) (Figura 9). A evolução da produção segue uma tendência similar à dos móveis de madeira sólida, com forte incremento nos últimos anos devido ao aumento na exportação.

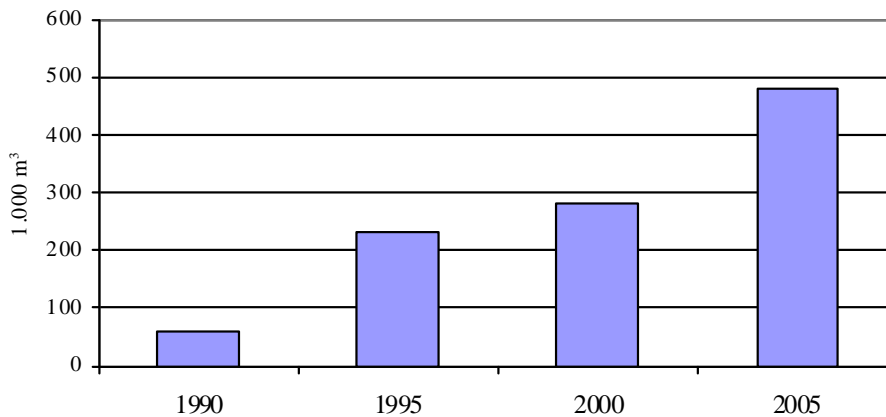


Figura 9. Evolução da produção brasileira de painéis de pinus colados lateralmente.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

4. Mercado

A produção brasileira da indústria florestal baseada em madeira de pinus está direcionada tanto para o mercado doméstico quanto para o internacional. A análise do mercado doméstico está fundamentada, essencialmente, no consumo nacional e suas particularidades, enquanto que o mercado internacional é analisado sob a ótica das exportações e importações.

4.1. Mercado doméstico

4.1.1. Celulose

A demanda de celulose e PAR (pasta de alto rendimento) de fibra longa (pinus), no mercado doméstico, está vinculada à produção local de papel para embalagem e papel de imprensa. O consumo desse produto, que era de 1.230.000 t em 1990, chegou a 1.750.000 t em 2005 (crescimento anual de 2,5 % no período) (Figura 10). Esse consumo tem se mantido praticamente estável nos últimos anos e a demanda interna crescente vem sendo suprida pela celulose de fibra curta (eucalipto), em alguns nichos específicos.

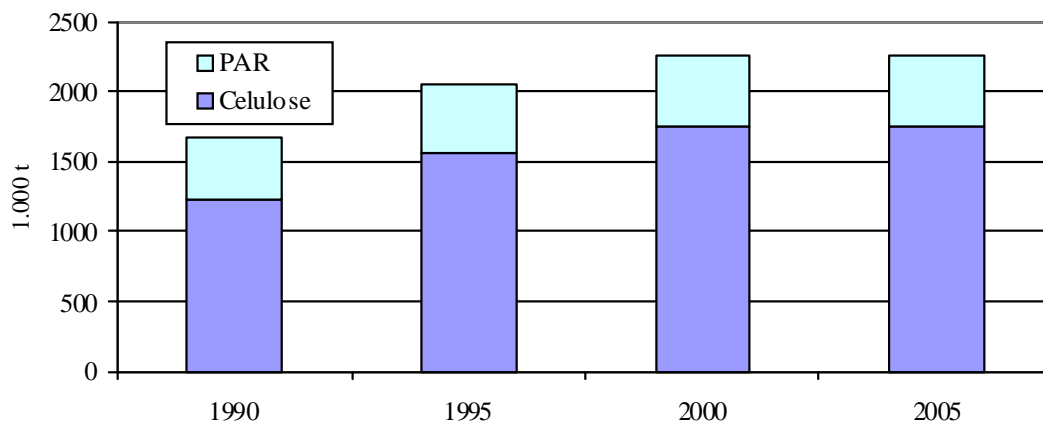


Figura 10. Evolução do consumo brasileiro de celulose e PAR (pasta de alto rendimento) de fibra longa (pinus). Fonte: BRACELPA (2005).

No caso da PAR, o consumo doméstico tem acompanhado a evolução da produção. A demanda tem se mantido praticamente estável, uma vez que não há importação e tampouco exportação desse produto. De maneira similar à celulose de fibra longa, o suprimento de PAR para atender a crescente produção de determinados tipos de papéis tem sido, gradativamente, atendido com celulose de fibra curta de eucalipto.

4.1.2. Painéis reconstituídos

A expansão da indústria brasileira de painéis reconstituídos está diretamente associada ao crescimento da demanda doméstica de móveis. O Plano Real, implantado em 1994, aumentou o poder aquisitivo, principalmente da população de baixa renda, impulsionando o consumo de móveis no país. A taxa média de crescimento anual do consumo de painéis

reconstituídos foi de 11,6 %, no período entre 1990, quando o volume demandado era de 735 mil m³, e 2005, quando chegou a mais de 3,9 milhões de m³ (Figura 11).

A demanda doméstica de painéis reconstituídos, basicamente aglomerados e de MDF, é atendida, predominantemente, pela indústria nacional. O consumo de aglomerado tem crescido acentuadamente, a partir de meados da década de 1990. Em 1995, a demanda era de 866 mil m³, passando a 1,8 milhão de m³ em 2000 e 2,1 milhões de m³

em 2005. O consumo desses painéis por outros segmentos industriais, além da moveleira, é marginal.

O consumo de MDF, no Brasil, vem crescendo além da expectativa, impulsionado pelo alto desempenho da indústria moveleira, bem como pela sua excelente qualidade. A oferta não tem sido suficiente para atender a demanda. Assim, desde o final dos anos 1990, estão sendo necessárias importações desse produto (TUOTO; TAMANHO, 2004).

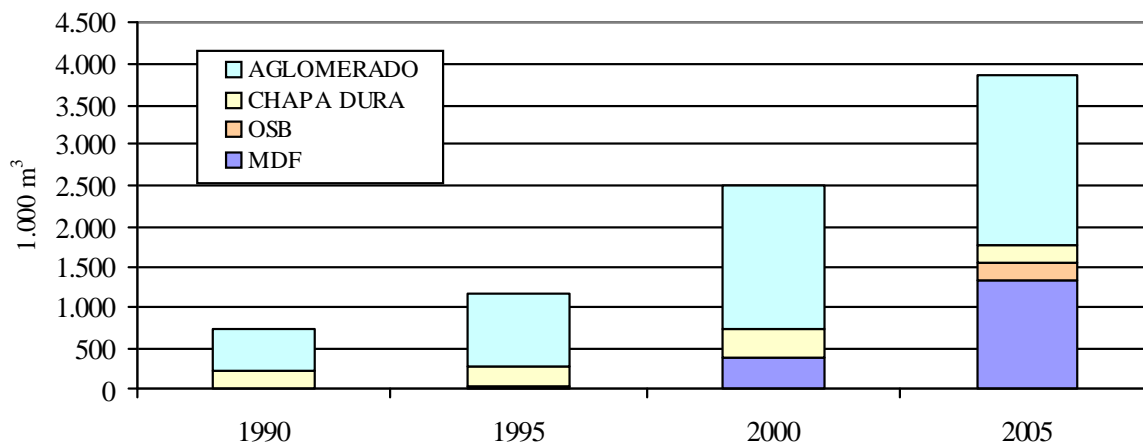


Figura 11. Evolução do consumo brasileiro de painéis reconstituídos.

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (2005).

A história do uso de MDF no Brasil é recente. Em 1995, o volume consumido era de 21 mil m³ e, em 2000, já atingia 389 mil m³. Atualmente, consome-se, anualmente, 1,3 milhão de m³ desse produto. O crescimento acentuado da demanda doméstica ocorreu devido ao seu uso em substituição a outros produtos como a madeira serrada, o compensado e até mesmo o aglomerado. Inicialmente, o MDF era usado, basicamente, pelas indústrias moveleiras;

atualmente, seu uso está difundido em outros segmentos, principalmente na construção civil.

O consumo brasileiro de chapas duras foi crescente até o advento do MDF, no final dos anos 1990. A partir daí, parcelas crescentes da demanda foram sendo atendidas por outros tipos de chapa, particularmente o MDF fino. A demanda de chapas duras, que era de 244 mil m³ em 1990, atualmente não passa de 231 mil m³.

O OSB é um produto introduzido recentemente no mercado doméstico e vem ocupando nichos antes atendidos pela madeira serrada e pelo compensado, sobretudo na construção civil. O consumo doméstico ainda está aquém das expectativas, da ordem de 200 mil m³ anuais.

4.1.3. Madeira serrada

A maior parte da produção brasileira de madeira serrada de pínus é consumida domesticamente. O crescimento no consumo está associado ao seu uso em substituição às

espécies tradicionais como o pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*) e à expansão das exportações de produtos como *pallets*, APG, *fencing*, remanufaturas de madeira, móveis, entre outros. O consumo passou de 3,5 milhões de m³, em 1990, para 7,6 milhões de m³ em 2005 (Figura 12), representando um crescimento anual de 5,2 %.

Os principais segmentos consumidores de madeira serrada de pínus, no Brasil, são as indústrias da construção civil, remanufatura de madeira, móveis e embalagens.

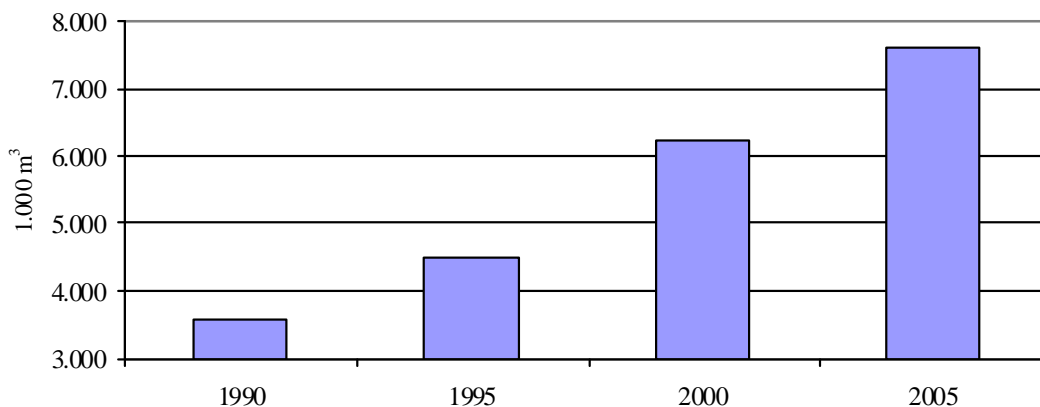


Figura 12. Evolução do consumo brasileiro de madeira serrada de pínus.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

4.1.4. Compensado

O consumo de compensado de pínus no mercado doméstico tem permanecido praticamente estável desde meados da década de 1990. A sua demanda tem sido suplantada

pela de painéis reconstituídos, especialmente o aglomerado, o MDF e o OSB. Em 2005, o consumo chegou a 550 mil m³ (Figura 13). Isso representa apenas 20 % da produção nacional e o restante é destinado ao mercado internacional.

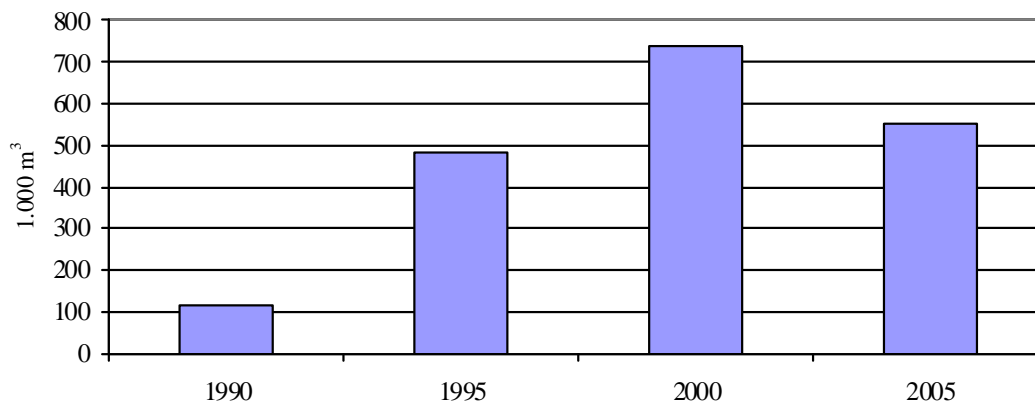


Figura 13. Evolução do consumo brasileiro de compensados de pínus.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

A demanda de compensados de pínus no mercado doméstico está associada, principalmente, à indústria da construção civil, sobretudo para aplicações não-estruturais. Outra utilização importante deste produto tem sido na indústria de embalagens.

4.1.5. Remanufatura de madeira

A demanda de molduras FJ de pínus é recente e os volumes consumidos ainda são pequenos. São produtos destinados, em sua maioria, para o mercado externo e,

esporadicamente, para o mercado doméstico. A parcela destinada ao uso doméstico é, geralmente, do tipo *low grade* (baixa qualidade). Isso vem mudando, gradativamente, e muitos produtores passaram a atender nichos no mercado doméstico para as molduras de alta qualidade. Com isso, o consumo doméstico vem crescendo rapidamente, embora ainda seja modesto em termos de volume total. Em 2005, a sua demanda no mercado doméstico chegou a 100 mil m³ (Figura 14).

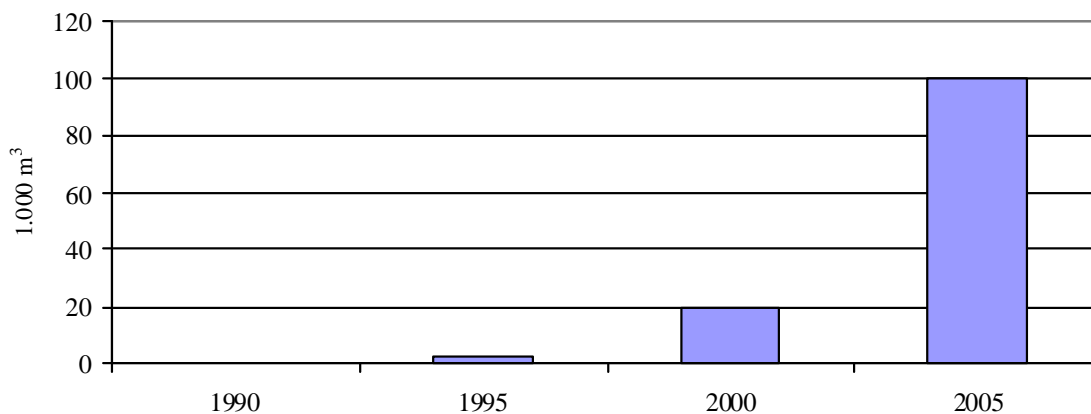


Figura 14. Evolução do consumo brasileiro de molduras FJ de pínus.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

Além das molduras FJ de pínus, existem outros tipos consumidos domesticamente. Em geral, é difícil quantificar o volume consumido, uma vez que a produção é extremamente pulverizada.

O caso do painel colado lateralmente é diferente do da moldura FJ de pínus. A maioria da produção brasileira é demandada para uso pelos próprios produtores (produtores

integrados) que são, em sua maioria, indústrias de móveis de madeira sólida. A evolução do seu consumo interno seguiu praticamente o mesmo padrão da produção nacional desses móveis. Sua demanda passou a se tornar expressiva somente a partir da segunda metade da década de 1990, quando eram consumidos menos de 200 mil m³ anuais. Atualmente, o consumo é da ordem de 350 mil m³ (Figura 15).

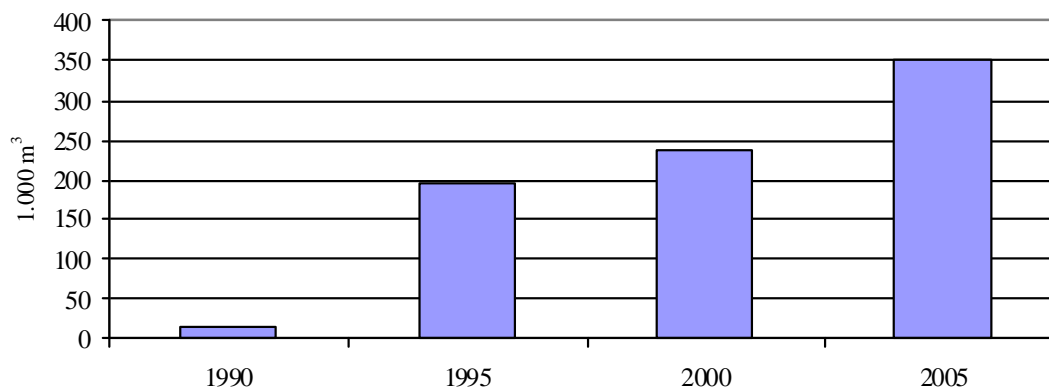


Figura 15. Evolução do consumo brasileiro de painel de pínus colado lateralmente.
Fonte: STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003).

4.2. Mercado externo

4.2.1. Celulose

O Brasil é pouco ativo no mercado internacional de celulose e PAR de fibra longa. Sua atuação está restrita a pequenos volumes importados, predominantemente dos Estados Unidos e países do Cone Sul (Argentina, Chile

e Uruguai) (Figura 16), para atender, principalmente, a indústria de papel *tissue*. A importação de celulose de fibra longa foi crescente até o final da década de 1990. A partir de então, os volumes importados permaneceram estáveis em 300 mil t/ano (Figura 17). As perspectivas indicam que a importação desse produto não deve sofrer alteração, pelo menos em curto prazo.

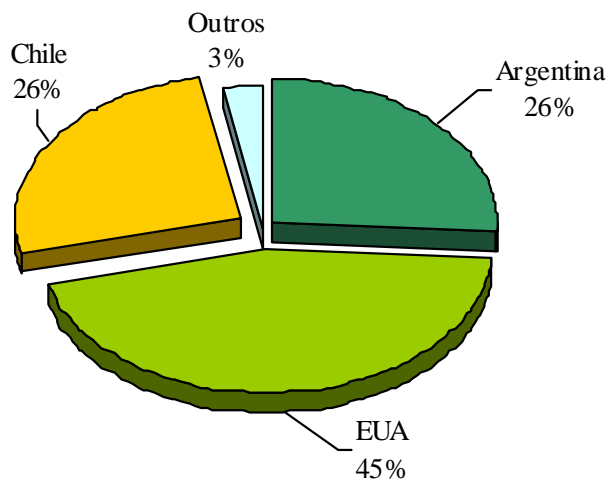


Figura 16. Origem das importações brasileiras de celulose de fibra longa.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

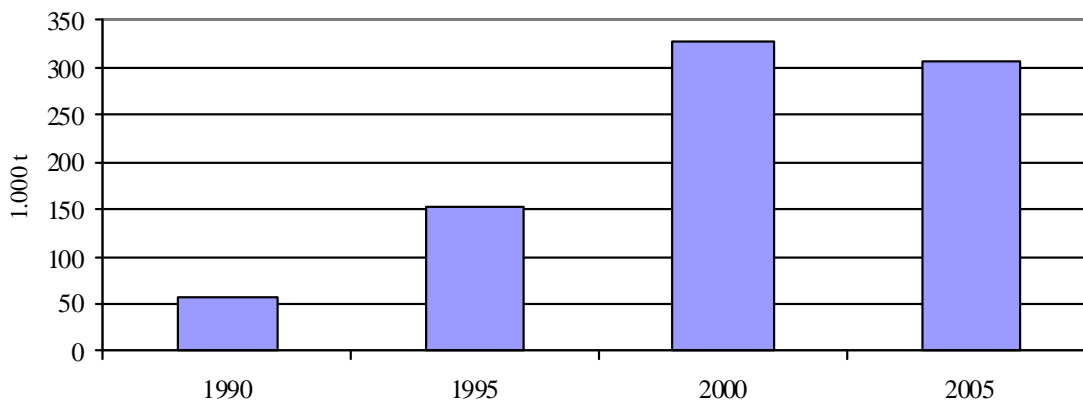


Figura 17. Evolução das importações brasileiras de celulose de fibra longa (pínus).
Fonte: BRACELPA (2005).

4.2.2. Painéis reconstituídos

As exportações brasileiras de painéis reconstituídos são pouco expressivas e estimadas em pouco mais de 10 % do volume

produzido no país, com base nos dados de 2005. Até o início dos anos 2000, as exportações eram quase que exclusivamente em forma de chapa dura. Mais recentemente, com a ampliação da capacidade produtiva das

indústrias, as exportações de OSB e de MDF aumentaram significativamente. Em 2005, foram exportados 523 mil m³ (Figura 18), sendo 55 % de chapas duras, 28 % de OSB e 16 % de MDF. A exportação de aglomerado brasileiro é insignificante, por ser um produto de baixo valor agregado e de baixa competitividade no mercado internacional.

Porém, a principal limitação para a exportação deste produto é a alta incidência do preço do frete marítimo.

As exportações brasileiras de painéis reconstituídos são destinadas, em sua maioria, para dois países (EUA e África do Sul) (Figura 19). Volumes menos expressivos têm sido exportados para o Chile, China e Costa Rica.

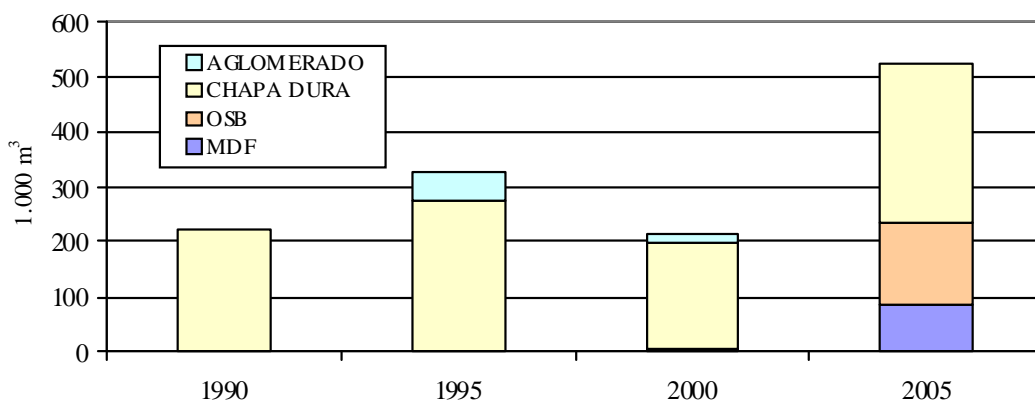


Figura 18. Evolução das exportações brasileiras de painéis reconstituídos.
Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (2005).

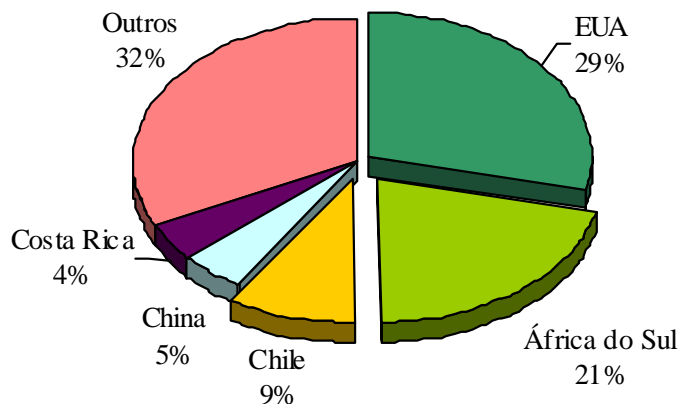


Figura 19. Destinos das exportações brasileiras de painéis reconstituídos de pinus (2005).
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

A importação brasileira de painéis reconstituídos é pouco significativa no âmbito global, particularmente quando comparada com os volumes demandados domesticamente. Porém, é importante no âmbito do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL). As demandas *spot* que ocorrem para atender o mercado doméstico são supridas pelos países do MERCOSUL, sobretudo a Argentina. Existem produtores de aglomerado e MDF, tanto no Brasil quanto na Argentina, favorecendo, assim, o comércio intra-regional. Principalmente no período entre 1996 e 1998, houve intensa importação desses produtos. O aumento das importações

ocorreu em virtude da sua falta no mercado doméstico, dado ao forte crescimento da indústria moveleira estimulado pelo Plano Real. O recorde ocorreu em 1997, quando o Brasil importou próximo a 250 mil m³ de painéis reconstituídos, principalmente o aglomerado e o MDF. Atualmente, importa-se apenas o MDF, dada à insuficiência da capacidade de produção para atender a demanda local. Em 2005, foram importados apenas 25 mil m³ (Figura 20). Importações de chapas duras têm sido insignificantes e a de aglomerado decresceram, significativamente, nos últimos anos, em vista da momentânea “sobreoferta” no mercado doméstico.

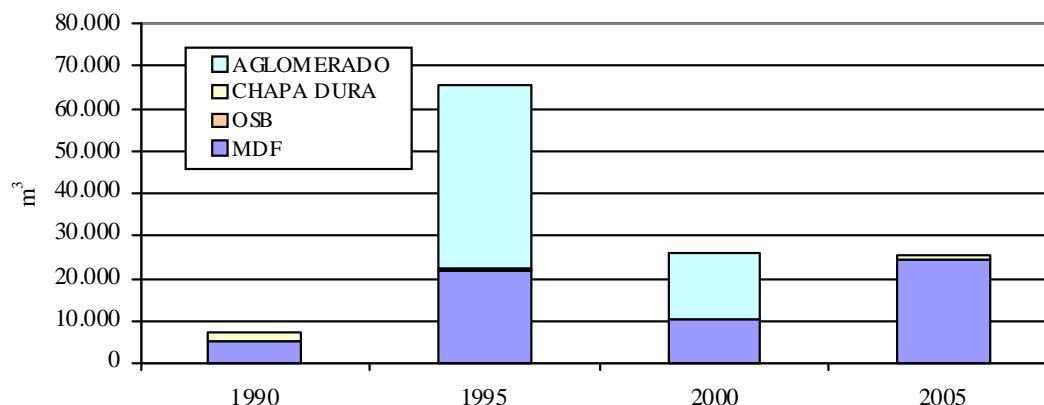


Figura 20. Evolução das importações brasileiras de painéis reconstituídos.

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (2005).

As importações brasileiras de painéis reconstituídos, em 2005, sobretudo de MDF, foram provenientes da Argentina. Isso porque alguns produtores nacionais importaram de suas fábricas situadas na Argentina, para

complementar suas linhas de produtos ou simplesmente para aumentar a oferta no mercado doméstico. Adicionalmente, pequenos volumes de chapa dura têm sido importados da Bolívia (Figura 21).

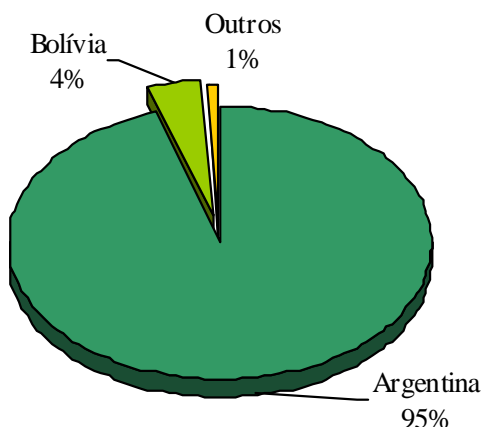


Figura 21. Origens das importações brasileiras de painéis reconstituídos (2005).
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

4.2.3. Madeira serrada

Os volumes de madeira serrada de pínus exportados pelo Brasil são pouco significativos frente à produção nacional. Em 2005, foram exportados 1,5 milhão de m³ (Figura 22), que representaram 20 % da produção. A tendência das exportações foi de aumento significativo no período entre 1995 e 2005, com taxa de crescimento anual de 14,5 %. No início dos anos 1990, elas estavam orientadas para a

fabricação de *pallets*. Mais recentemente, elas têm sido direcionadas para o segmento da construção civil. A perspectiva da exportação de madeira serrada de pínus é de estabilidade ou, até mesmo, de redução nos próximos anos, associada à tendência de agregação de valor à madeira serrada, através de remanufaturas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2005).

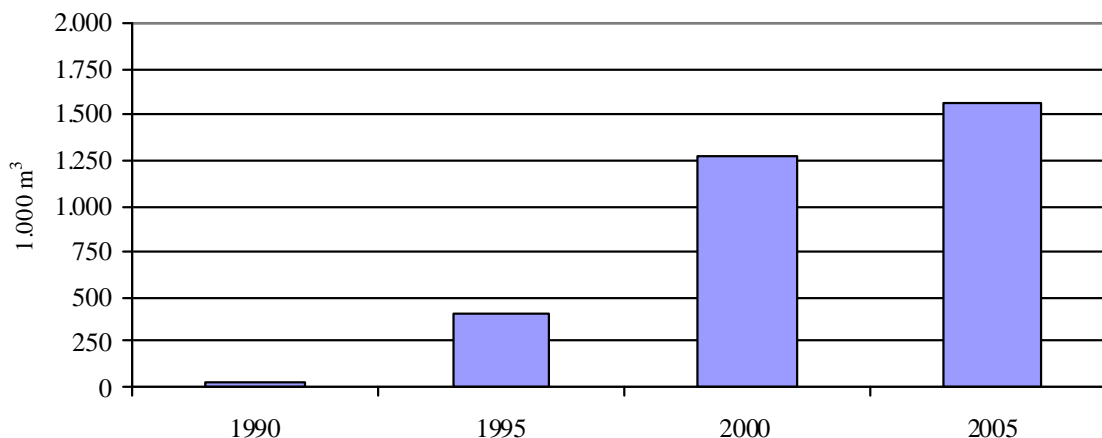


Figura 22. Evolução das exportações brasileiras de madeira serrada de pínus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Os Estados Unidos são os principais destinos da exportação brasileira de madeira serrada de pinus. Isoladamente, eles absorvem 75 % do volume exportado (Figura 23). Outros

destinos importantes são a Espanha, o Marrocos e o México. Em todos os casos, o produto comercializado é para uso não-estrutural.

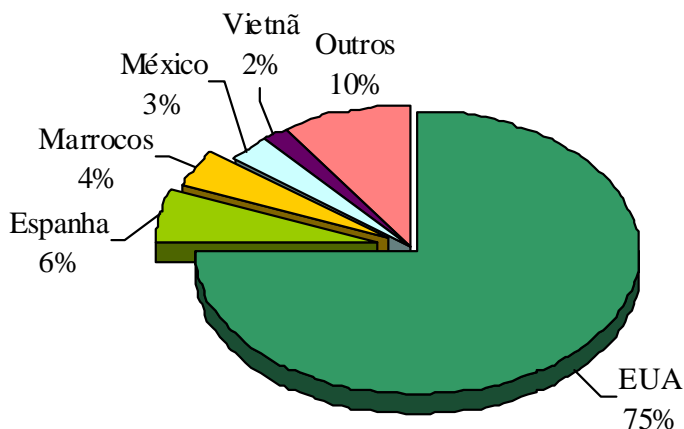


Figura 23. Destino das exportações brasileiras de madeira serrada de pinus. Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

As importações brasileiras de madeira serrada de pinus têm sido insignificantes em relação ao consumo doméstico. Em 2005, foram importados 54 mil m³ (Figura 24). Entretanto, está havendo crescimento, com

perspectiva de adquirir maior importância no futuro, em virtude das limitações no suprimento pelas fontes domésticas, particularmente na Região Sul.

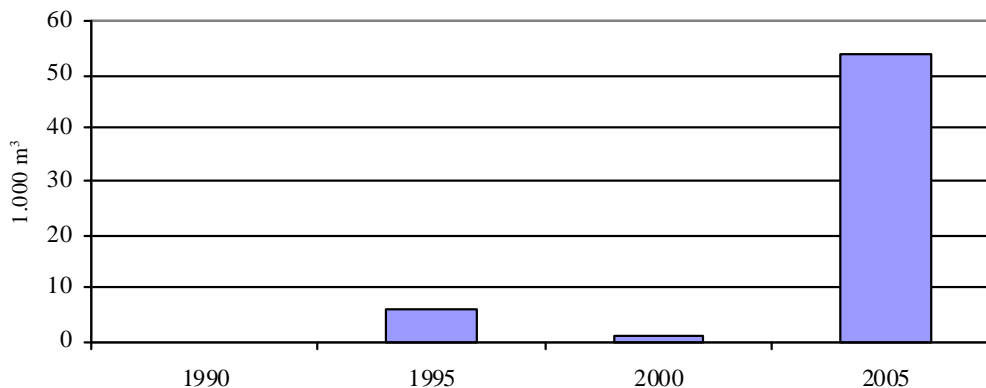


Figura 24. Evolução das importações brasileiras de madeira serrada de pinus. Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

O Brasil importa madeira serrada de pínus, sobretudo da Argentina (Misiones e Corrientes) (Figura 25), de regiões localizadas próximas à fronteira brasileira, dos estados do Paraná e

Santa Catarina, onde a demanda doméstica está concentrada. Neste caso, a madeira está orientada para atender as indústrias de móveis de madeira sólida.

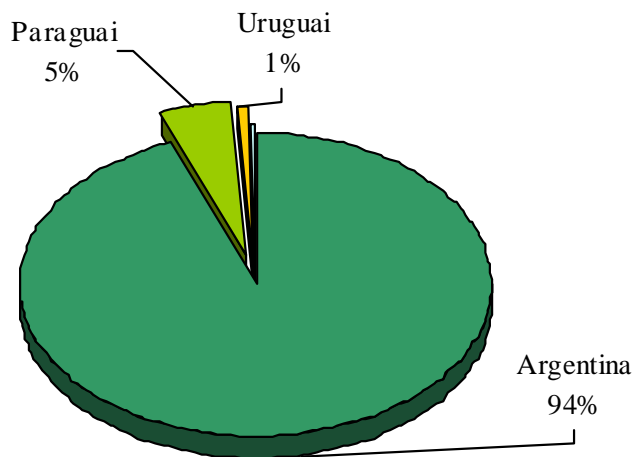


Figura 25. Origens das importações brasileiras de madeira serrada de pínus (2005).
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

4.2.4. Compensado

O Brasil é uma figura importante no mercado internacional de compensado de coníferas. Estima-se que a participação brasileira nesse mercado represente a metade das importações europeias e, ainda mais, no mercado americano. De acordo com a IWPA (*International Wood Products Association*), o Brasil é fornecedor de 2/3 das importações americanas desse produto.

A maior parte da produção brasileira de compensado de pínus é exportada e os volumes destinados ao mercado doméstico são pouco expressivos. As exportações têm crescido acentuadamente desde o final da década de 1990, tendo chegado próximo a 2 milhões de m³ em 2005 (Figura 26). Esse desempenho consolidou o Brasil como o maior exportador mundial de compensado de conífera (TUOTO et al., 2004).

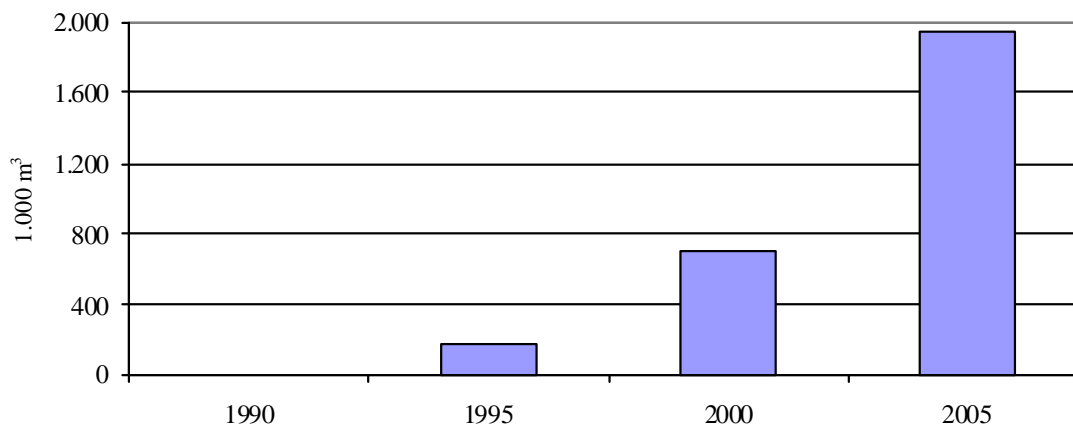


Figura 26. Evolução das exportações brasileiras de compensados de pínus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Os destinos das exportações brasileiras de compensado de pínus estão concentrados em poucos países (Figura 27). Isoladamente, os

Estados Unidos adquiriram mais da metade das exportações brasileiras em 2005, seguidos pelo Reino Unido, Bélgica e Alemanha.

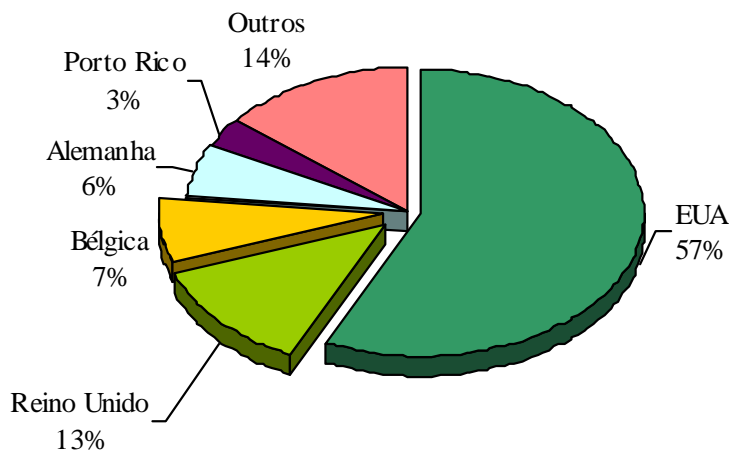


Figura 27. Destinos das exportações brasileiras de compensados de pínus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Apesar do excelente desempenho verificado até então, a sustentabilidade do crescimento das exportações brasileiras de

compensado de pínus pode estar comprometida. No primeiro semestre de 2006, houve decréscimo de aproximadamente 15 %

em relação ao mesmo período de 2005, com perspectiva de redução para 1,7 milhão de m³ em 2006. Em parte, isso pode ser atribuído à desvalorização da moeda americana frente ao Real, afetando o preço em Real e diminuindo, conseqüentemente, a receita dos exportadores brasileiros. Isso demonstra que as empresas brasileiras estavam ampliando sua participação no mercado internacional com base em uma (falsa) vantagem competitiva baseada apenas na taxa de câmbio. No entanto, a maioria dos exportadores percebeu o câmbio como apenas uma vantagem comparativa e a competitividade tem sido defendida através de melhores desempenhos em produtividade e da identificação de nichos de mercado que permitam maior remuneração pelo produto. Entretanto, existem outros fatores que têm limitado o crescimento das exportações brasileiras de compensado de pinus e serão discutidos posteriormente em detalhe.

4.2.5. Remanufatura de madeira

O Brasil é muito ativo no mercado internacional de molduras FJ de pinus. As

exportações cresceram rapidamente durante os últimos anos. Até a metade da década de 1990, praticamente não havia participação brasileira no mercado mundial desse produto. As exportações começaram a se avolumar a partir de 1998, com uma forte penetração no mercado americano.

Em 2005, as exportações atingiram 600 mil m³ (Figura 28), com perspectiva de crescimento lento em curto e médio prazos, tendo em vista os fatores como a desvalorização da moeda americana frente ao Real, a redução na oferta de madeira de pinus no mercado doméstico e a forte competição com os produtos como o MDF, o gesso e o plástico, entre outros.

As exportações de molduras FJ de pinus do Brasil têm como destino, basicamente, os Estados Unidos, e o Brasil é o principal fornecedor desse produto para aquele país. Em 2005, de acordo com dados do SECEX, esse foi o destino de 93 % das exportações brasileiras (Figura 29). Nos últimos anos, pequenas parcelas têm sido direcionadas, também, para o Canadá, Porto Rico e Portugal.

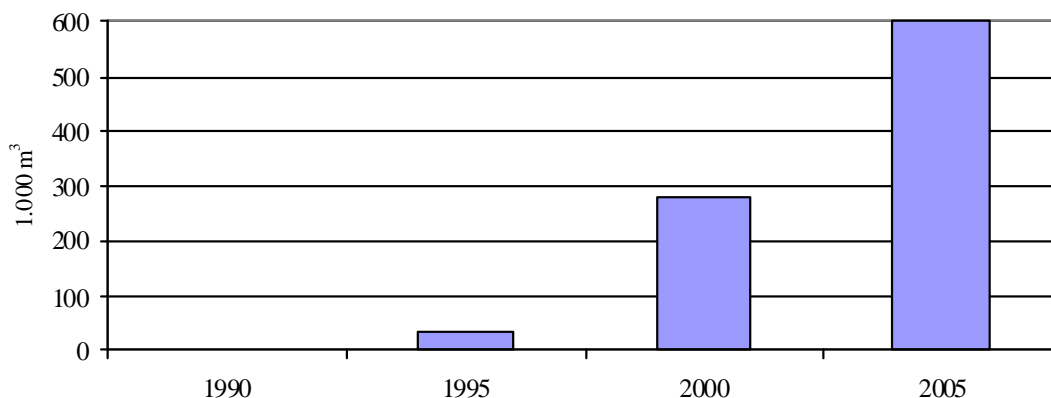


Figura 28. Evolução das exportações brasileiras de molduras FJ de pinus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

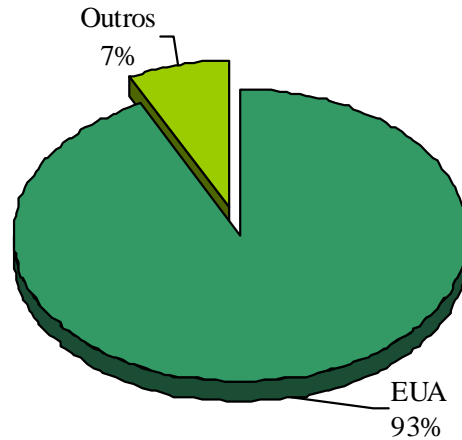


Figura 29. Destinos das exportações brasileiras de molduras FJ de pinus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

As exportações de painel colado lateralmente de pinus são quase que exclusivamente de fornecedores independentes, não envolvidos na produção de móveis. Os volumes exportados representam aproximadamente um terço da produção brasileira, tendo atingido 132 mil m³ em 2005 (Figura 30).

O principal destino deste produto da exportação brasileira é, também, os Estados Unidos. No entanto, tanto a Espanha quanto Portugal figuram como importantes destinos do produto (Figura 31).

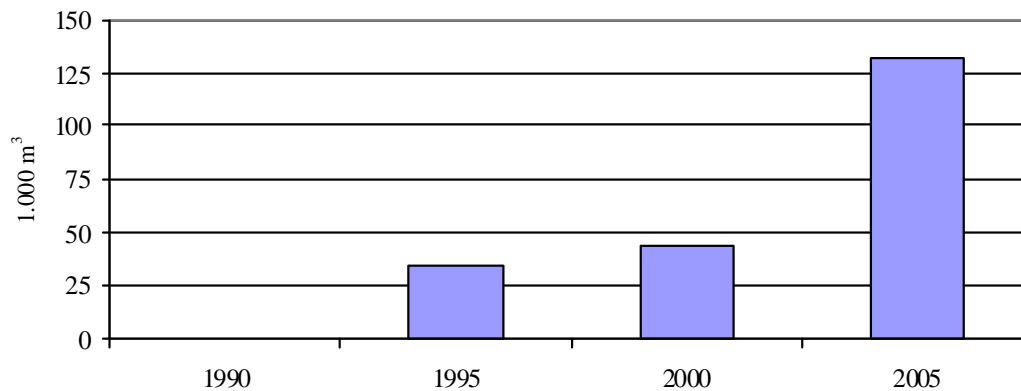


Figura 30. Evolução das exportações brasileiras de painel colado lateralmente de pinus.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

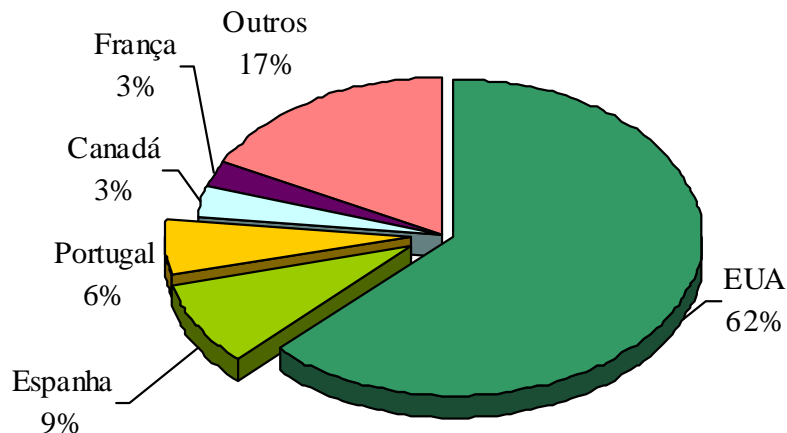


Figura 31. Destinos das exportações brasileiras de painel de pinus colado lateralmente.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

5. Limitações e desafios enfrentados pela indústria florestal brasileira

O desenvolvimento da indústria florestal brasileira foi calcado, sobretudo, na competitividade da produção florestal, aliando à capacidade do setor privado na gestão dos negócios e na adoção de novas tecnologias. A indústria florestal tem enfrentado limitações e desafios que, de certa forma, vêm comprometendo o seu crescimento e afetando a sua competitividade. São problemas conjunturais comuns a todos os segmentos industriais (oferta, acesso e custo do crédito, promoção do produto nacional, "Custo Brasil" e outros), além de problemas intrínsecos à própria indústria florestal (suprimento de matéria-prima, competição com produtos substitutos, modelo institucional etc.).

5.1. Suprimento de matéria-prima (tora)

A indústria florestal brasileira baseada em pinus atravessa uma crise sem precedente, devido à crise no suprimento de madeira, que

tende a se agravar nos próximos anos. Trata-se do chamado "apagão florestal", para o qual já se vinha chamando atenção pelos especialistas, desde meados da década de 1990.

A demanda atual de madeira de pinus em tora é maior que a capacidade de produção sustentada das plantações no país. Para 2010, projeta-se um déficit da ordem de 20 milhões de m³ e, na Região Sul, onde há maior demanda, o déficit projetado é ainda maior. A tendência é de um rápido aumento na diferença entre oferta e demanda nos próximos anos, uma vez que a expansão da área florestal plantada com pinus não está acompanhando o ritmo de crescimento da demanda. Para 2020, espera-se um déficit de pouco mais de 27 milhões de m³, considerando somente toras de pinus (TUOTO, 2003a).

As limitações na oferta de tora de pinus têm provocado um forte impacto nos preços. Nos últimos anos, o preço da tora de pinus

acumulou, em média, um aumento de 200 %. Esse aumento é incompatível com a inflação (IPCA) que, no mesmo período, acumulou pouco mais de 60 %. O impacto da demanda nos preços ainda não é maior porque o déficit está sendo coberto, momentaneamente, pelos estoques existentes (TOMASELLI; TUOTO, 2004).

As projeções indicam que, no curto prazo, o preço da tora de pinus, no Brasil, atinja patamares próximos aos praticados pelos principais competidores, particularmente Chile e Nova Zelândia. Dificilmente, essa tendência poderá ser revertida, uma vez que a única via seria pelo aumento da oferta e isso, certamente, não ocorrerá no curto e médio prazos, tendo em vista os reduzidos investimentos no estabelecimento de plantios florestais e o longo período de maturação (TUOTO, 2003b). Entretanto, o impacto da redução na oferta de tora de pinus não é apenas sobre o seu preço. A falta de madeira afeta a competitividade da indústria florestal como um todo e compromete o seu papel como gerador de riquezas para o país. Não é possível sustentar o crescimento da indústria florestal, nem mesmo os níveis atuais de produção, com a base florestal existente. Atualmente, a limitação na oferta de toras constitui o principal fator restritivo à sustentabilidade e competitividade da indústria florestal brasileira. Por esse motivo, a ampliação da área com plantações florestais de pinus é fundamental e mecanismos direcionados para o seu desenvolvimento precisam ser implementados. Incentivos ao manejo de plantações florestais para produção de matéria-prima de melhor qualidade são instrumentos inovadores e essenciais que precisam ser fomentados para garantir maior competitividade do produto brasileiro.

5.2. Competição com produtos substitutos

Nas últimas décadas, a indústria florestal brasileira tem sido afetada pelo surgimento de materiais alternativos à madeira. Trata-se de um fenômeno enfrentado pela indústria florestal no mundo inteiro. Os principais materiais alternativos são o aço, o plástico, o alumínio, o concreto e o gesso. Tradicionalmente, o aço, o concreto e o gesso vêm competindo na construção civil, enquanto que o alumínio e o plástico no segmento de embalagens. A substituição da madeira tem sido mais evidenciada em produtos de maior valor agregado como, por exemplo, esquadrias em geral (molduras, janelas, marcos, caixilhos), portas e móveis (BURROWS; SANNES, 1999). Da mesma forma, em diferentes tipos de embalagens (*pallets*, bobinas e caixas especiais, entre outros).

Ocupando uma parcela significativa do mercado de produtos de madeira, os materiais alternativos comprometeram o crescimento e a manutenção dos níveis de produção da indústria florestal. Porém, isso forçou a indústria florestal a buscar alternativas para ganhar competitividade. Isso incluiu a redução nos preços dos produtos, a melhoria na qualidade e o desenvolvimento de novos produtos, particularmente de madeira engenheirada.

Segundo estudos norte-americanos, os principais fatores que favoreceram a substituição da madeira por materiais alternativos na construção civil são referentes à qualidade (resistência, ausência de defeitos etc.), à disponibilidade, ao preço (baixo e estável), e à facilidade de uso e/ou aplicação. Fatores ligados ao meio ambiente (reciclagem, eficiência energética e redução do impacto ambiental) foram considerados menos

importantes na seleção do material. Do ponto de vista do consumidor, registrou-se a percepção de que materiais alternativos como o plástico, o alumínio e o aço seriam menos prejudiciais ao meio ambiente que a madeira. Na realidade, os produtos de madeira apresentam um menor consumo de energia e a mais baixa emissão de CO₂ durante seu processo produtivo, em comparação com qualquer material alternativo empregado na construção civil. Sendo um material renovável, a madeira fixa o carbono e pode desempenhar um papel importante na mitigação de mudanças climáticas. Estudos têm indicado que, para cada metro cúbico de madeira usado em lugar de materiais alternativos, deixa-se de liberar, em média, 800 kg de CO₂ para a atmosfera (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidades de CO₂ que se deixa de liberar para a atmosfera para cada metro cúbico de madeira usada em lugar dos materiais alternativos.

Materiais alternativos	CO₂ (kg)
Concreto padrão	792
Concreto pesado	1.013
Bloquete de concreto	725
Tijolo	922

Mundialmente, a indústria florestal tem negligenciado, de certa forma, o advento de materiais alternativos à madeira e tem sido pouco eficiente no desenvolvimento de estratégias para limitar esse avanço.

Campanhas têm sido realizadas na Europa e nos Estados Unidos, para estimular o consumo de madeira. O NTC (*Nordic Timber Council*) e as organizações britânicas que representam os interesses dos fabricantes de produtos de madeira lançaram uma grande campanha chamada "Wood for Good" para promover o uso da madeira na Europa. Porém, esses esforços são ainda limitados, em comparação com o *lobby* das indústrias do aço e do cimento. No Brasil, a ABIMCI tem desenvolvido campanhas pontuais para incentivar o uso da madeira, mas os resultados até então têm sido modestos.

5.3. Oferta, acesso e custo do crédito

A escassez, a dificuldade de acesso e o custo elevado do crédito para o setor privado dificultam o desenvolvimento de empreendimentos de diferentes naturezas no Brasil, além de comprometer a competitividade do produto nacional e restringir o crescimento do país. O Brasil destaca-se, internacionalmente, pela alta taxa de juros e, também, pela magnitude do *spread* que se cobra de pessoas jurídicas nas operações financeiras. A ineficiência do sistema de intermediação financeira se caracteriza como um importante entrave ao desenvolvimento de negócios e ao investimento. A inadimplência é uma das causas do elevado *spread* bancário. Porém, sua importância relativa é menor do que dos custos administrativos e do regime de tributação. Os custos administrativos somados aos chamados resíduos (que incluem o lucro dos bancos) chegam a mais de 50 % das causas do *spread*. Assim, o estímulo à concorrência e a desoneração tributária constituem os caminhos mais promissores para aumentar a eficiência do sistema

financeiro e, em última instância, para a redução do custo do capital no Brasil (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2006). Este é um problema que afeta toda a indústria brasileira e tem um impacto ainda acentuado na indústria florestal, sobretudo no segmento de celulose e papel, que é altamente dependente de capital intensivo e está eminentemente orientado para o mercado externo (exportação).

5.4. Custo Brasil

O “Custo Brasil” é uma expressão genérica para um conjunto de fatores desfavoráveis à competitividade do país. Isto inclui todos os custos inseridos na produção, comercialização, distribuição e logística que excedem os padrões internacionais para um mesmo tipo ou categoria de produto ou serviço. De maneira geral, os principais fatores responsáveis pelo “Custo Brasil” são os elevados custos de transporte e logística, juros altos, carga tributária excessiva, elevados custos trabalhistas e previdenciários, além do déficit público. Porém, esse “Custo” transcende tais fatores, pois, na maioria das vezes, está atrelado ao processo de formação empresarial, à questão sociocultural e política, bem como aos aspectos de natureza estratégica e outras.

A indústria florestal brasileira, em especial a orientada à exportação e baseada em madeira de pínus, tem sido fortemente afetada pelo “Custo Brasil”. Isso tem limitado a ampliação de sua participação no mercado internacional. Um exemplo típico desse entrave é o elevado custo de transporte. O custo do frete rodoviário do compensado de pínus da indústria até o porto pode atingir, em alguns casos, US\$25,00/m³, enquanto

que, nos países concorrentes, está na faixa de US\$10,00/m³ a US\$15,00/m³. Outro exemplo típico é o custo portuário. No Brasil, o custo de movimentação de *containers* pode atingir US\$50,00, enquanto nos países competidores é de apenas US\$15,00.

A indústria florestal brasileira tem sido eficiente na identificação do “Custo Brasil”, ao ponto de encontrar algumas maneiras para mitigá-lo. No entanto, grande parte desse “Custo” depende de ações do governo que, pelo menos, no curto e médio prazos, não têm perspectiva de mudar o cenário atual.

5.5. Estabelecimento de um modelo institucional orientado à produção

A indústria florestal brasileira guarda estreita relação com o setor florestal como um todo. Por sua vez, o setor florestal está vinculado ao Ministério do Meio Ambiente. Este tem sido um fator restritivo ao desenvolvimento da indústria florestal brasileira, particularmente aquela baseada em florestas plantadas. Isso porque o Ministério do Meio Ambiente protagoniza questões essencialmente ambientais, relegando os aspectos produtivos a um plano secundário. Disso resulta que a produção de madeira e a produção industrial de base florestal permanecem fora do foco da política florestal brasileira. Em países mais desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá e Finlândia, o setor florestal está diretamente vinculado a um ministério voltado à produção, quase sempre o Ministério da Agricultura. Neste caso, a conotação dada ao setor florestal é eminentemente orientada à produção.

5.6. Representatividade da indústria florestal

A representatividade da indústria florestal brasileira é fragmentada. Diferentes organizações como, por exemplo, a ABIMCI, a ABIMÓVEL (Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário), a ABIPA (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira), a ABPMEX (Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Madeira), a BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel), entre outras, representam os interesses de distintos segmentos industriais dentro do mesmo setor florestal. Quase sempre, os mesmos interesses são defendidos separadamente pelas diferentes organizações, enfraquecendo a representatividade do setor florestal. Isso leva à perda de credibilidade e do poder de barganha da indústria florestal em todas as esferas.

Em países como a Finlândia, existem poucas organizações representando os interesses da indústria florestal local e isso fortalece a sua representatividade. Segundo STCP ENGENHARIA DE PROJETOS (2003), a principal organização é a Federação Finlandesa das Indústrias Florestais (FFIF), que atende os interesses da indústria de produtos de madeira sólida e da indústria de celulose e papel em negociações e processos de tomada de decisão, levando sempre em consideração o ambiente de negócios em que operam. A FFIF monitora os aspectos relacionados ao desenvolvimento econômico, legislação, administração e às propostas relacionadas aos mesmos, representando a indústria florestal, também, perante o governo, bem como em negociações referentes ao mercado de trabalho, acordos comerciais e assuntos alfandegários. Ela é responsável, também, pela

imagem da indústria florestal finlandesa perante a comunidade nacional e internacional.

5.7. Limitações do acesso aos mercados

Existem poucas barreiras tarifárias para acesso dos produtos florestais aos principais mercados importadores. Segundo organizações internacionais como a FAO (*Food and Agriculture Organisation*), o ITTO (*International Tropical Timber Organisation*) e o ITC (*International Trade Center*), para a maioria dos produtos primários (tora, cavaco, serrado, lâmina, celulose), os impostos ou taxas de importação foram praticamente removidos. Todavia, as remanufaturas de madeira (produtos de maior valor agregado) ainda são taxadas. Porém, as tarifas de importação de produtos florestais, inclusive dos remanufaturados de madeira, são reduzidas e a tendência é da completa eliminação ao longo dos próximos anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2005).

Segundo a ABIMCI, as limitações de acesso a determinados mercados estão, atualmente, mais dependentes de barreiras não-tarifárias e outras formas de impedimento. Entre estas, incluem-se as cotas, os mecanismos envolvendo aspectos técnicos, sociais, ambientais e fitossanitários, as políticas de compra por parte de governos (uso do poder de compra) e outras.

Os produtos de madeira sólida têm sido dos mais afetados pelas novas modalidades de impedimentos de mercado, com tendência de agravamento. Exemplos típicos de barreiras não-tarifárias são o *CE Marking* para produtos de madeira empregados na construção civil exportados para Europa, as exigências pelo

Japão relacionadas à emissão de formaldeído, as exigências de certificação florestal, entre outras.

O principal problema das barreiras não-tarifárias é que, embora tenham sido contornadas pela indústria florestal brasileira, geram novos custos de transação e, conseqüentemente, reduzem a competitividade do produto brasileiro no mercado internacional.

5.8. Aperfeiçoamento da inteligência de mercado

O processo de globalização, a partir do final da década de 1980, dinamizou o mercado internacional de produtos florestais, exigindo um constante monitoramento do mercado por parte dos que nele operam. Nos países desenvolvidos, onde a indústria florestal ocupa papel de destaque, o setor público quase sempre coopera com o setor privado, disponibilizando informações básicas e serviços de monitoramento para acompanhar as oscilações de mercado. Com isso, buscam-se o melhor aproveitamento das oportunidades, a identificação dos mercados mais atrativos e proporcionar conhecimentos para melhor adequação dos produtos às necessidades dos clientes. Esse serviço representa um fator importante para a competitividade da indústria florestal, particularmente das micro e pequenas empresas.

Os serviços de inteligência de mercado desempenham um papel fundamental para o acesso das micro e pequenas indústrias florestais ao mercado internacional. Entre os exemplos típicos desses serviços estão: 1) identificação de mercados alternativos; 2) identificação de novos produtos e nichos de

mercado compatíveis com o perfil das empresas; 3) identificação de canais de comercialização mais apropriados; 4) desenvolvimento de banco de dados de mercado e comércio de produtos florestais retroalimentado pelos seus participantes. Este serviço pode incluir, também, aspectos relacionados à promoção comercial, que têm sido negligenciados pela indústria florestal brasileira.

6. Considerações Finais

A indústria florestal brasileira, particularmente aquela baseada em madeira de pínus, tem se desenvolvido com grande competência ao longo das últimas décadas. Isso somente foi possível por causa da competitividade do país e à capacidade do setor privado na gestão dos negócios e na adoção de novas tecnologias. A indústria florestal brasileira dispõe de condições básicas para consolidar e ampliar sua posição de destaque no mercado tanto nacional quanto internacional. No entanto, é imprescindível o uso de suas vantagens comparativas para fortalecer sua competitividade. Nesse contexto, os esforços do setor privado devem ser complementados por ações de governo, na defesa dos interesses nacionais, convergindo para uma estratégia setorial conjunta que contemple:

- A promoção da produção;
- O suprimento de matéria-prima (tora);
- A penetração em novos mercados;
- O livre acesso aos mercados e a defesa dos interesses comerciais;
- O desenvolvimento de uma imagem positiva para o produto nacional;

- Mecanismos de aperfeiçoamento de mercado;

- O apoio ao desenvolvimento tecnológico de recursos humanos.

Não se pode ignorar que a consolidação e a ampliação da competitividade da indústria florestal brasileira exigem o equacionamento dos problemas crônicos que afetam todo o setor produtivo brasileiro (“Custo Brasil”, acesso ao crédito, custo de capital etc.). Sem isso, qualquer política de desenvolvimento setorial tenderá ao fracasso.

9. Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seu agradecimento a Sra. Gisele Batista pelo apoio na compilação de informações e a Sra. Ana Regina de Oliveira Mello Costa pela revisão do texto.

8. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2004**. Curitiba, 2005. 50 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **ABIPA**: números. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 25 maio 2006.

BRACELPA. **Relatório estatístico 2004/05**. São Paulo, 2005. 210 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **ALICE WEB**: Brasil exportador. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 30 junho 2006.

BURROWS, J.; SANNES, B. **A summary of the competitive climate for wood products and paper packaging**: the factors causing substitution with emphasis on environmental promotions. New York; Geneva: United Nations, 1999. 27 p. (Timber and forest discussion papers). ECE/TIM/DP/16.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Documento novo governo**: versão preliminar. São Paulo, 2006. 108 p.

STCP ENGENHARIA DE PROJETOS. **Estudo multicliente**: *benchmarking* entre as operações brasileiras e finlandesas: lições a serem aprendidas e desafios para a indústria florestal brasileira melhorar a sua competitividade. Curitiba, 2003. 124 p.

TOMASELLI, I.; TUOTO, M. Oferta de pinus no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 12, n. 68, p. 6-8, 2002. Edição especial sobre pinus.

TUOTO, M. O apagão florestal e suas implicações. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, p. 3, 2 abril 2003a.

TUOTO, M. Os desequilíbrios do mercado de tora de pinus no Brasil. **Informativo STCP**, Curitiba, n. 7, p. 18-21, 2003b.

TUOTO, M. Forest plantations for commercial purposes and CDM projects using DDI and FDI: the brazilian case. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KYOTO MECHANISM AND INTERNATIONAL COOPERATION FOR AFFORESTATION AND REFORESTATION, 2005, Seul. **Proceedings**. Seoul: Korea Forum on Forests for Sustainable Society, 2005. p. 191-212.

TUOTO, M.; HOEFELICH, V. A.; SYLVESTRE, A. Mercado internacional de produtos de madeira sólida de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 14, n. 83, p. 6-8, 2004. Edição especial sobre pinus.

TUOTO, M.; SYLVESTRE, A.; AVILA, S. A explosão das exportações brasileiras de compensado. **Informativo STCP**, Curitiba, n. 8, p. 18-21, 2004.

TUOTO, M.; TAMANHO, R. Painéis de madeira: perfil completo da indústria que movimentou mercado interno e externo. **Revista Referência**, Curitiba. n. 34, p. 42-44, 2004.

Espécies de *Pinus* na Silvicultura Brasileira

Jarbas Yukio Shimizu, Alexandre Magno Sebbenn

1. Introdução

O gênero *Pinus* constitui um grupo de aproximadamente 90 espécies de árvores da família Pinaceae (MARCHIORI, 1996), originárias, quase que exclusivamente, do Hemisfério Norte, sendo nativas na Europa, Ásia e Américas do Norte e Central. Somente uma espécie (*Pinus merkusii*) estende sua área de ocorrência até o sul da Linha do Equador, na Sumatra (2° S) (CRITCHFIELD; LITTLE JÚNIOR, 1966). Nas Américas, a distribuição estende-se desde 66° N, no Canadá, até 12° N, na Nicarágua. A máxima diversidade do gênero ocorre no México e na Califórnia, onde, aparentemente, está em intenso processo de especiação. Muitas espécies são intensivamente plantadas e manejadas para produção comercial de madeira, especialmente no Hemisfério Sul, em países como Nova Zelândia, Brasil, Colômbia, Chile, Argentina, Uruguai, África do Sul e Austrália, entre outros.

Espécies de pínus vêm sendo plantadas no Brasil há mais de um século. Muitas delas foram trazidas pelos imigrantes europeus, para fins ornamentais e para produção de madeira. Em 1880, já havia pínus (*P. canariensis*) plantados no Rio Grande do Sul e, em 1906, várias espécies faziam parte de experimentos

de campo, no Estado de São Paulo (FERREIRA, 2001).

Em 1948, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas as espécies americanas conhecidas nas origens como “pinheiros amarelos”, que incluem *Pinus palustris*, *P. echinata*, *P. elliottii* e *P. taeda*. Dentre essas, as duas últimas se destacaram pela facilidade nos tratamentos culturais, rápido crescimento e reprodução intensa no Sul e Sudeste do Brasil. Desde então, outras têm sido introduzidas, não só dos Estados Unidos, mas, também, do México, da América Central, das ilhas do Caribe e da Ásia.

O potencial das espécies de pínus como produtoras de madeira, para processamento industrial, foi a principal motivação para a introdução subsequente, para experimentação (KRONKA et al., 2005), de um grande número de espécies de diferentes procedências pelos órgãos do governo e pelas empresas privadas. A sociedade brasileira passou a conviver mais intensamente com espécies desse gênero a partir da década de 1960, quando extensas áreas começaram ser plantadas com *P. elliottii* e *P. taeda*, nas regiões Sul e Sudeste. Assim, para o público em geral, ficou a impressão de que os atributos do gênero se resumiam nas qualidades e defeitos inerentes a essas duas

espécies. Por exemplo, ambas são relativamente resistentes à geada e proporcionam altos rendimentos em madeira nas regiões que englobam: 1) para *P. taeda*, o planalto da região Sul, até o norte do Paraná; e 2) para *P. elliottii*, a região Sul como um todo e parte da região Sudeste, no Estado de São Paulo e nas regiões serranas do sul de Minas Gerais.

2. Aspectos Relacionados à Escolha de Espécies para Plantios Comerciais

O gênero *Pinus* inclui espécies produtoras de madeira de características variadas e de grande valor comercial. No subgênero *Haploxylon*, estão as espécies produtoras de madeira de baixa densidade, considerada “madeira mole”, indicada para uso em acabamentos, marcenaria e artesanato (por exemplo, *P. chiapensis*); no subgênero *Diploxylon*, estão as produtoras de “madeira dura”, altamente valorizada para uso em estruturas, móveis, chapas, embalagens, celulose e papel. Este grupo engloba as demais espécies plantadas com sucesso, para fins comerciais no Brasil. Além disso, várias delas, como *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. caribaea* e outras, produzem resina em quantidade viável para a sua exploração comercial.

Considerando a ampla variação presente quanto aos requisitos ecológicos para o seu desenvolvimento, aos hábitos de crescimento, à qualidade da madeira, à resistência ou tolerância aos extremos climáticos, aos regimes de precipitação pluviométrica e a muitos outros aspectos, todos estes precisam ser criteriosamente analisados na escolha da espécie para os plantios comerciais. Por exemplo, no manejo de povoamentos de *P. greggii* ou *P. patula*, algumas atividades como

a desrama são indispensáveis, para produzir madeira mais valorizada possível (sem nós) para o mercado. É importante que esta operação seja programada para os períodos mais frios e secos do ano, para evitar o ataque de fungos como os do gênero *Sphaeropsis* que danificam a madeira e podem levar as árvores à morte.

Nas espécies de coníferas como do gênero *Pinus*, as estruturas onde são formadas as sementes são conhecidas como cones. Estes são equivalentes aos frutos nas angiospermas e são características altamente variáveis, servindo, muitas vezes, para a identificação das espécies. Algumas como *P. kesiya* e *P. oocarpa* apresentam cones pequenos, com 3 cm a 5 cm de comprimento, enquanto que outras como *P. lambertiana* produzem cones com mais de 30 cm. Quando maduros, as escamas dos cones de várias espécies logo se abrem e liberam as sementes. Porém, nas espécies conhecidas como *closed cone pines*, mesmo depois de maduros, os cones permanecem fechados por vários anos. Isso faz parte da estratégia de sobrevivência, normalmente em regiões semi-áridas onde, após um longo período de seca, a chegada da estação das chuvas é precedida de tempestades elétricas que, periodicamente, dão origem a incêndios florestais. Assim, os cones que ficarem expostos ao fogo abrem-se imediatamente, liberando uma grande quantidade de sementes que irão germinar e assegurar a regeneração natural.

2.1. Requisitos ambientais

Quanto ao habitat, a maioria das espécies de *Pinus* que se desenvolvem bem no Brasil são originárias de regiões com solos ligeiramente ácidos. Porém, existem outras

que são próprias de regiões com solos de reação neutra a alcalina, como *P. engelmannii* e *P. greggii* da região Norte do México. No entanto, as condições restritivas como essas raramente ocorrem isoladamente, pois uma situação pode estar associada a outra, de maneira que as espécies próprias desses ambientes estão adaptadas ao conjunto desses fatores. Em princípio, a alcalinidade do solo é consequência do tipo de material de

origem desse solo. Porém, isso, normalmente, está associado, também, à baixa precipitação pluviométrica, pois, em um ambiente semi-árido, grande parte da umidade que chega ao solo tende a se evaporar, reduzindo a ocorrência de lixiviação das bases trocáveis do solo. De maneira geral, os pínus dos tipos ecológicos que habitam esses locais não encontram condições de crescimento normal no Brasil (Figura 1).



Figura 1. *Pinus greggii* em Ponta Grossa, PR, com fuste deformado devido à origem inadequada. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

É importante observar o regime pluviométrico nas regiões de origem das espécies antes de introduzi-las para uso comercial. Essa é uma das razões da inviabilidade de espécies como *P. radiata*, para plantios comerciais na maior parte do Brasil, apesar do rápido crescimento em locais com condições ecológicas adequadas. Na sua região de origem (Califórnia, Estados Unidos) e em todos os locais onde esta espécie é plantada comercialmente (Nova Zelândia, Sul da Austrália, África do Sul, Chile), as precipitações pluviométricas ocorrem no período mais frio do ano. Quando plantada no Brasil, onde o período chuvoso coincide com o período mais quente, a combinação da alta umidade com a temperatura causa estresse fisiológico, além de favorecer o desenvolvimento de fungos patogênicos, levando as plantas à morte em poucos anos.

A produtividade dos povoamentos florestais é uma consequência direta das condições ecológicas do local de plantio e do potencial das espécies de utilizar os recursos naturais disponíveis para o seu crescimento. Portanto, na ausência de experiência prévia, a primeira aproximação para identificar as espécies exóticas de maior potencial para plantios comerciais pode ser obtida através de analogias ecológicas (climática e edáfica) entre os locais onde se pretende plantar com os de origem dessas espécies. Esse procedimento aumenta a probabilidade de escolha de espécies com maior potencial de adaptação na região. Dentre os vários fatores ambientais, os seguintes aspectos precisam ser observados com maior cuidado, quando se pretende estabelecer plantios de espécies introduzidas:

2.1.1. Altitude

Na introdução de espécies florestais em ambientes distintos das suas origens, as probabilidades de adaptação serão maiores quanto mais semelhantes forem as altitudes dos locais de plantio às das suas origens, dentro da mesma faixa de latitudes ou de latitudes correspondentes no outro hemisfério. Por exemplo, *P. patula* ocorre no México, entre as latitudes 24° N, próximo a Ciudad Victoria, Tamaulipas, até 17° N, na Sierra de Papalos, Oaxaca, em altitudes variando de 1.500 m a 3.100 m (PERRY JÚNIOR, 1991). Plantios desta espécie no Hemisfério Sul, em altitudes menores, normalmente resultam em árvores de baixa estatura e com grande quantidade de ramos grossos (Figura 2). Além disso, o desajuste ambiental gera estresses que a torna altamente vulnerável a vários patógenos e insetos desfolhadores. Somente quando estabelecidos a 1.000 m ou mais de altitude desenvolvem fustes retilíneos com ramos finos e representam um grande potencial para produção de madeira de alta qualidade (Figura 3).

Pinus caribaea var. *hondurensis* manifesta deformações quando ecótipos de baixa altitude são plantados em locais de altitude elevada (Figura 4). Porém, cada espécie constitui um caso à parte. Existem exceções como *P. caribaea* var. *bahamensis*, originário das Ilhas Bahamas e arredores. A região de origem dessa variedade é de clima tropical, praticamente ao nível do mar, com solo de reação neutra a ligeiramente alcalina. Apesar disso, ela tem sido introduzida em vários países e tem apresentado bom crescimento, mesmo em solos de reação ácida, como também em locais de maior altitude, suportando inclusive geadas em regiões sub-tropicais.



Figura 2. *Pinus patula* com baixa qualidade de fuste e ramos, plantado a menos de 900 m de altitude no Sul do Brasil. Foto: Jarbas Y. Shimizu.



Figura 3. *Pinus patula* com boa forma de fuste e ramos, plantado em local a mais de 1.000 m de altitude no Sul do Brasil. Foto: Jarbas Y. Shimizu.



Figura 4. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, originário de região próxima ao nível do mar, manifestando deformações no tronco quando plantado a 1.000 m de altitude no Planalto Central do Brasil. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

2.1.2. Temperatura

Para cada espécie, existe uma faixa de temperatura ótima, bem como a mínima e a máxima que podem limitar o seu crescimento. Espécies de clima temperado têm como ótima a temperatura de 25 °C, com a mínima e a máxima de 4 °C e 41 °C, respectivamente; as espécies tropicais têm como ótima a faixa de temperatura de 30 °C a 35 °C, com as mínimas e máximas de 10 °C e 50 °C, respectivamente (BURNS; HONKALA, 1990). A ocorrência de geadas severas é limitante para espécies tropicais como *P. caribaea*, *P. tecunumanii* e *P. maximinoi*. Por outro lado, a falta de alternância de temperaturas altas e baixas, durante o dia e a noite, respectivamente, pode limitar o desenvolvimento de espécies próprias de regiões temperadas. Em *P. taeda*, o maior crescimento é observado em regiões onde a temperatura atinge 27 °C durante o dia e 17 °C à noite (BURNS; HONKALA, 1990).

2.1.3. Distribuição de chuvas

Precipitações uniformemente distribuídas durante o ano ou com maior tendência de chuvas no verão são propícias ao crescimento dos pinus do sul e sudeste dos Estados Unidos, bem como dos pinus tropicais da América Central e do Caribe. Por outro lado, espécies de clima mediterrânico como *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. ponderosa*, *P. sylvestris*, *P. radiata* e outras não encontram condições para crescimento sadio na maior parte do Brasil, visto que necessitam de um regime que ofereça período seco no verão e chuvoso no inverno. Além do prejuízo no crescimento devido ao desajuste climático, a alta umidade no período mais quente do ano favorece a intensa proliferação de patógenos.

2.1.4. Umidade no solo

Para se ter uma idéia da quantidade de água necessária para o crescimento satisfatório das espécies florestais, a primeira indicação pode ser vista pela precipitação e pelo tipo de solo predominante no seu local de origem. A disponibilidade de água para as plantas no solo é assegurada não só pela entrada em forma de chuvas e gotejamento da neblina condensada nas folhagens, mas, também pela capacidade de retenção de água do solo. Solos porosos ou de granulação grossa têm menor capacidade de retenção de água do que os siltosos e os argilosos. Por outro lado, o excesso de umidade, também, é prejudicial. A maioria das espécies não tolera solos com drenagem deficiente. Portanto, todas as variáveis relacionadas tanto à entrada quanto à capacidade de retenção e saída de água da rizosfera precisam ser analisadas, na escolha de espécies para plantio. Mesmo assim, ensaios de campo são indispensáveis para assegurar maior probabilidade de êxito na introdução de espécies.

2.1.5. Profundidade e reação do solo

No conhecimento popular, existe uma tendência de se considerar que os pinus são espécies rústicas que crescem em qualquer lugar onde sejam plantadas, mesmo em solos rasos. Até certo ponto, isto é verdade, dentro das limitações próprias de cada espécie. Ademais, é preciso enfatizar que, ao estabelecer plantios em escala comercial, busca-se a maior rentabilidade possível. Nesse aspecto é que surgem as diferenças, pois não basta que as árvores sobrevivam e se estabeleçam. Para produzir o maior volume de madeira por área plantada, num determinado período de tempo, a profundidade do solo é

fundamental. Em solos com menos de 1 m de profundidade, normalmente, há perda no crescimento em altura e, conseqüentemente, no volume de madeira produzida, prejudicando a rentabilidade do empreendimento. As espécies de maior êxito no Brasil são as adaptadas aos solos ligeiramente ácidos, onde a associação simbiótica de suas raízes com fungos micorrízicos aumenta a capacidade de utilização de fósforo e de outros nutrientes, promovendo, assim, o seu rápido crescimento.

2.2. Qualidade da madeira

Os pínus, em geral, produzem porções significativas de madeira juvenil. Sua presença nas toras é inevitável, pois corresponde aos primeiros anéis de crescimento após a medula, formando um núcleo de madeira diferenciada ao longo do tronco. Essa madeira apresenta várias características que são indesejáveis nas peças sólidas para fins estruturais. Entre os aspectos marcantes da madeira juvenil, estão: a) baixa densidade; b) traqueóides (fibras) curtos; c) paredes celulares finas; d) baixa resistência; e) alta tendência ao colapso (BENDTSEN; SENFT, 1986).

A duração do período de produção da madeira juvenil varia amplamente entre espécies. Por exemplo, em *P. caribaea*, pode durar em torno de quatro anos, enquanto que, em *P. elliottii*, estende-se por seis a oito anos e, em *P. taeda*, de 13 a 15 anos. Em espécies do oeste americano como *P. ponderosa*, pode durar mais de 20 anos. Após essa fase, as árvores passam a produzir madeira adulta, com características físico-mecânicas distintas e de melhor qualidade para usos estruturais (maior densidade, resistência e estabilidade) (SCHULTZ, 1997). Essa transição brusca na qualidade da madeira torna complicado o seu

uso como madeira sólida, especialmente quando se pretende processar a matéria-prima produzida nos primeiros desbastes. Portanto, quanto menor for a proporção de madeira juvenil no tronco, melhor será a qualidade da madeira. Isto explica a baixa qualidade da madeira de pínus para fins estruturais, quando esta provém dos primeiros desbastes. Na madeira adulta, não só as suas propriedades físicas se tornam favoráveis para uso como peças sólidas, mas também aumenta o rendimento nos processos de produção de celulose.

Para usos estruturais, bem como para a maioria das aplicações, é desejável obter madeira de características uniformes, com alta resistência física e mecânica. Normalmente, estas características estão diretamente relacionadas com a maior densidade básica da madeira. Nessa categoria, estão as espécies como *P. oocarpa*, *P. taeda* e *P. patula*. Por outro lado, se a madeira requerida for do tipo homogêneo, de baixa densidade, para uso em marcenaria, fabricação de embalagens finas e artesanatos, *P. chiapensis* seria a opção mais apropriada. Porém, é preciso lembrar que a qualidade da madeira produzida depende do ambiente em que a espécie está plantada. Experiências na África do Sul mostraram que *P. caribaea* plantado nas regiões de baixa altitude produzem madeira praticamente só do tipo primaveril, de densidade e resistência demasiadamente baixas para qualquer tipo de aplicação (ZOBEL; TALBERT, 1984). Fato semelhante ocorre com *P. taeda*, que produz madeira de boa qualidade em plantios estabelecidos em locais de baixa altitude, mas de densidade extremamente baixa e, assim, sem valor comercial, quando estabelecidos em locais de

grande altitude, na África do Sul. *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tende a apresentar crescimento anormal conhecido como *fox-tail*, que é associado à madeira de baixa qualidade, com maior frequência em locais com precipitações abundantes do que em locais onde ocorrem deficiências hídricas durante um período do ano.

2.3. Características especiais

Todas as espécies de pinus são resinosas, em maior ou menor grau. No Brasil, *P. taeda* é preferido para uso industrial na produção de celulose e papel, justamente porque, além do rápido crescimento, apresenta baixo teor de resina na madeira. Isso facilita a sua industrialização e resulta em produtos de alta qualidade pelos processos utilizados no país. Por outro lado, *P. elliotii* é destinado à produção de madeira serrada e chapas, além da exploração comercial de resina, devido ao alto teor desse extrativo na madeira.

A resina de *P. elliotii* tem grande aceitação no mercado devido ao alto teor de pineno. Porém, o ambiente propício para o crescimento desta espécie, no Brasil, limita-se às regiões Sul e parte do Sudeste. Nas regiões de clima tropical, somente espécies como *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. kesiya*, *P. maximinoi*, *P. tecunumanii* e outras próprias desse tipo de ambiente conseguem prosperar. Dessas, *P. caribaea* é usada, também, para a exploração da resina, embora de constituição e propriedades diferentes daquelas de *P. elliotii*.

3. Opções de Espécies para Plantios Comerciais no Brasil

Experiências acumuladas ao longo de décadas, com a introdução de *Pinus* em diferentes períodos (FERREIRA, 2001) no

Brasil, resultaram em um grande volume de informações sobre essas espécies. Os aspectos de maior importância para a silvicultura de pinus referem-se ao potencial produtivo, requisitos ecológicos e vulnerabilidades aos agentes bióticos e abióticos da região onde serão plantadas.

3.1. *Pinus taeda*

A distribuição natural do *Pinus taeda* L. abrange 14 Estados do Sul e Sudeste dos Estados Unidos, estendendo-se desde o sul de Nova Jérsei até o centro da Flórida e, em direção ao oeste, até o leste do Texas. O clima nessas regiões é úmido, temperado, com verões longos e quentes e invernos suaves. A precipitação pluviométrica média anual varia de 1.020 mm a 1.520 mm. A temperatura média anual varia de 13 °C a 24 °C (FOWELLS, 1965).

Pinus taeda é plantado em maior escala na sua região de origem. No Sul e no Sudeste dos Estados Unidos, os plantios comerciais desta espécie estão estimados em 13,4 milhões de ha (SCHULTZ, 1997), constituindo o maior centro de produção de madeira de florestas plantadas dos Estados Unidos. Ele é plantado, também, em várias partes do mundo, para produção de madeira para processamento industrial. No Brasil, os principais plantios encontram-se no planalto das regiões Sul e Sudeste, estendendo-se por uma área estimada em 962.500 ha (KRONKA et al., 2005).

A predominância de *P. taeda* no Sul e Sudeste dos Estados Unidos é atribuída, basicamente, à ação antrópica. Na época da colonização européia nos Estados Unidos, a paisagem era dominada pelas florestas de *P. palustris*, enquanto que *P. taeda* se encontrava

restrito aos sítios ao longo dos cursos de água (ZOBEL, 1983). O desenvolvimento inicial da região foi marcado pela intensa exploração de *P. palustris* para produção de madeira e resina, seguida pela cultura de algodão. Porém, devido à forma predatória das práticas agrícolas da época, sem os cuidados com a conservação dos solos, a produtividade do algodão declinou rapidamente. A agricultura, em geral, tornou-se inviável na região devido à erosão, ao esgotamento da fertilidade do solo e à infestação por pragas. Assim, grande parte dos agricultores migrou para o norte, em busca de trabalho nas indústrias metalúrgicas, deixando vastas áreas com solos expostos. Estes foram, gradativamente, colonizados pelo *P. taeda*, formando a base da atual economia florestal da região.

A facilidade para colonizar áreas abertas é um atributo do *P. taeda* que é interpretado, especialmente em ecossistemas fora da sua região de origem, como caráter invasivo e danoso. Porém, essa agressividade só se verifica em situações em que haja: a) grande produção de semente; b) ausência de predadores naturais de semente; c) luminosidade suficiente para que as plântulas se estabeleçam; e d) contato direto das sementes com o solo. Sendo, ainda, uma espécie pioneira, ela é dependente de distúrbios ambientais para se estabelecer. Na ausência destes, o pínus tende a desaparecer da paisagem ao ser dominada pelas espécies folhosas (SCHULTZ, 1997). Portanto, através do manejo apropriado que inclua o controle do seu caráter invasivo, *P. taeda* pode ser cultivado em plantios intensivos para gerar múltiplos benefícios à sociedade.

Os primeiros plantios comerciais de *P. taeda* no Brasil foram estabelecidos com semente importada dos Estados Unidos, sem qualquer controle da qualidade genética ou de origem geográfica. Isso resultou em povoamentos de baixa qualidade de fuste devido aos defeitos como tortuosidades, bifurcações e um grande número de ramos grossos. Apesar disso, esta espécie oferece grandes oportunidades para ser transformada em espécie chave na economia florestal brasileira, mediante melhoramento genético.

Estudos de procedências em várias partes do Brasil revelaram variações geográficas importantes. As procedências da planície costeira do estado da Carolina do Sul ficaram conhecidas como as de maior produtividade e melhor qualidade de fuste no Sul e Sudeste do Brasil, em locais onde as geadas são moderadas. Para locais sujeitos às geadas severas, como na serra gaúcha e no planalto catarinense, as procedências de locais onde prevalecem invernos rigorosos como as da Carolina do Norte são mais promissoras.

O sucesso inicial do *P. taeda* como fonte de madeira no Brasil deveu-se, em grande parte, à ausência de inimigos naturais. Porém, a partir dos anos 1980, começaram a surgir algumas pragas atacando tanto a madeira quanto as acículas e os brotos terminais. Dentre elas, a mais notória é a vespa-da-madeira que representou uma séria ameaça à base florestal de pínus no Sul do Brasil. Para reduzir os danos causados por esta e outras pragas como os pulgões e as doenças fúngicas e bacterianas, foi necessário adotar medidas preventivas e de controle, em forma de manejo adequado dos povoamentos. Portanto, ficou evidente que a prática de somente plantar e

esperar que o povoamento produza madeira, da forma como se fazia inicialmente, não assegura retorno significativo. Os cuidados desde a escolha dos sítios adequados para o desenvolvimento da espécie até a adoção de práticas de manejo visando à fitossanidade, ao aumento da produtividade dos povoamentos e à qualidade do produto passaram a ser indispensáveis no negócio florestal.

As principais características de valor econômico como incremento volumétrico, forma de fuste e a densidade da madeira de *P. taeda* são herdáveis e podem ser melhoradas mediante seleção de matrizes. Povoamentos estabelecidos com semente de origem geográfica apropriada e melhorados geneticamente na mesma região têm possibilitado não só o aumento na produtividade de madeira, mas, também, melhoria substancial na qualidade do fuste. No Brasil, a madeira de *P. taeda* é destinada ao processamento mecânico na produção de peças serradas para estruturas, fabricação de móveis, embalagens, molduras, chapas de diversos tipos e, também, à fabricação de celulose e papel (Figura 5). Em geral, a qualidade da matéria-prima aumenta à medida que aumenta a densidade da madeira, dentro dos limites normais da espécie. Portanto, quanto menor for a proporção de madeira juvenil presente na tora, melhor será a sua qualidade. No entanto, na produção de celulose de fibra longa, pelos processos mecânicos e semi-mecânicos, a madeira juvenil, de baixa densidade, é muitas vezes preferida.



Figura 5. Povoamento de *Pinus taeda* manejado para produção de madeira para celulose. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.2. *Pinus elliottii*

Pinus elliottii Engelm. var. *elliottii* é de origem subtropical e produz grande quantidade de resina rica em pineno. Ele ocorre, naturalmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos, desde a Planície Costeira do sul da Carolina do Sul (33° N) até o centro da Flórida e sudoeste do estado da Louisiana (30° N) (DORMAN; SQUILLACE, 1974). Uma particularidade desta espécie é a tolerância aos solos úmidos, podendo ser plantada em áreas mesmo que tenha lençol

freático próximo à superfície. Ela é adequada para plantios nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, pois tolera geadas e um grau moderado de deficiência hídrica, podendo ser plantada nas regiões da Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e nas zonas de transição destas para o Cerrado e as Florestas Semi-decíduais dos estados do Paraná e São Paulo. Por ser de ambiente com características mais próximas à tropical, ele cresce menos que *P. taeda* nas partes mais frias do planalto sulino, mas, muito mais que esta em ambientes característicos de Cerrado do norte do Paraná e parte do Estado de São Paulo, bem como no litoral sul brasileiro.

Ensaio de campo têm indicado baixa ou nenhuma variação em produtividade ligada à procedência das sementes. Visto que a maior parte da variação nessa característica se verifica

entre indivíduos (de árvore para árvore) dentro de populações, os trabalhos de melhoramento genético ficam facilitados, uma vez que se pode contar com uma extensa população, independentemente da origem geográfica, para a seleção individual.

De maneira geral, o incremento volumétrico de *P. elliottii* costuma ser menor que o de *P. taeda*. Porém, ele inicia a produção de madeira adulta a partir dos sete a oito anos de idade, em contraste com 12 a 15 anos, em *P. taeda*. Este pode ser um diferencial importante na escolha da espécie para produção de madeira destinada ao processamento mecânico. Isto significa que, em toras da mesma idade, a de *P. elliottii* contém menor proporção de madeira juvenil e, portanto, será de melhor qualidade física e mecânica do que a de *P. taeda* (Figura 6).



Figura 6. *Pinus elliottii* var. *elliottii* manejado para produção de toras de grandes dimensões. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

Embora *P. elliotii* seja amplamente utilizado na fabricação de celulose e papel nos Estados Unidos, o mesmo não ocorre no Brasil. Devido ao alto teor de resina na madeira, seria necessário um processo industrial adicional para separar esse componente da matéria-prima. É por isso que o uso de *P. elliotii*, no Brasil, restringe-se à produção de madeira para processamento mecânico e à extração de resina de árvores em pé.

A resina de *P. elliotii* possibilitou a criação de uma importante atividade econômica no setor florestal brasileiro. Dados de 2002 indicaram uma produção de aproximadamente 100 mil t/ano, propiciando a movimentação financeira de US\$25 milhões. Com isso, o Brasil passou de importador a exportador deste produto.

A exploração da resina no Brasil gera mais de 12 mil empregos diretos no campo, oferecendo uma importante contribuição social que resulta no melhoramento das condições de vida no meio rural. A produtividade média de resina de *P. elliotii*, em árvores não melhoradas, é em torno de 2 kg/árvore ao ano. Esta característica é, também, de alta herdabilidade e pode ser alterada mediante seleção criteriosa das matrizes. Assim, após mais de uma geração de seleção e reprodução controlada, as árvores geneticamente melhoradas passaram a produzir, em média, 6 kg/árvore ao ano. Portanto, existe perspectiva de até triplicar, nas próximas rotações, a produtividade de resina com o uso de semente geneticamente melhorada, possibilitando a agregação de valor substancial aos povoamentos de *P. elliotii*.

3.3. *Pinus palustris*

Pinus palustris Mill. é a espécie arbórea que, originalmente, predominava nas florestas do

sul dos Estados Unidos. As árvores adultas atingem grandes dimensões e sua madeira foi intensamente explorada como matéria-prima para construções civis, navais e outros usos. Além disso, no período da colonização, a resina extraída desta espécie era altamente demandada para calafetação das embarcações de madeira.

Sementes de várias procedências de *P. palustris* foram introduzidas, no início dos anos 1970, para experimentação em várias partes do Sul e Sudeste do Brasil. De maneira geral, a produtividade tem sido menor que a de *P. taeda* e de *P. elliotii*, além de requerer cuidados especiais na fase inicial de sua implantação. Isto devido a uma característica peculiar que é a fase de dormência apical nas mudas, conhecida como “estágio de grama”. Esta é uma fase de desenvolvimento inicial em que não há crescimento apical. Ela se estende, desde a sua germinação, por um período variável entre plantas, podendo durar até cinco a seis anos. Toda a energia do crescimento é canalizada para o desenvolvimento das raízes e, durante esse período, a parte aérea da planta apresenta a aparência de um tufo de capim, já que somente as acículas permanecem visíveis. Isto dificulta muito as operações de capina e roçada.

Após o período da dormência apical, o broto terminal inicia o alongamento, dando início ao crescimento da planta. Tanto o tempo para o término da dormência apical quanto a rapidez do seu crescimento subsequente variam amplamente entre árvores. Portanto, na fase inicial de desenvolvimento, o povoamento de *P. palustris* apresenta muitas desigualdades, dificultando as operações de manejo.

3.4. *Pinus patula*

Pinus patula Cham. et Schlecht é uma espécie de origem mexicana, de grande valor como produtora de madeira, para processamento mecânico e de alto rendimento em celulose. Uma das características marcantes e úteis para a sua identificação é o formato das acículas que são finas e tenras, dispostas de forma pendente (Figura 7). Ela é cultivada com sucesso em alguns países andinos e na África. No Brasil, o seu plantio comercial é restrito aos pontos mais altos do sul de Minas Gerais e no planalto catarinense, em altitudes maiores que 1.000 m. Quando plantada em baixas altitudes, *P. patula* tende a produzir árvores de estatura média a baixa, com ramos numerosos e mais grossos que o normal. Além disso, nesses ambientes desfavoráveis ao seu crescimento normal, ela se torna altamente vulnerável ao ataque de insetos desfolhadores e de fungos, principalmente na madeira exposta por danos mecânicos ou após operações de desrama efetuadas em períodos úmidos com alta temperatura.

Através do melhoramento genético, já se tem conseguido desenvolver árvores de boa forma de fuste e ramos mais finos do que da geração anterior. Ainda assim, observam-se amplas variações nas características de interesse comercial, mesmo em povoamentos que sofreram uma geração de seleção. Portanto, há muito trabalho de melhoramento a ser feito, mediante seleção criteriosa de sítios e genótipos, seguida de reprodução controlada. Em condições favoráveis ao seu desenvolvimento, *P. patula* apresenta crescimento em altura maior do que *P. elliottii* ou *P. taeda*.



Figura 7. *Pinus patula* e características típicas da espécie. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.5. *Pinus caribaea*

Pinus caribaea Morelet é uma espécie que abrange três variedades naturais: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. A variedade *hondurensis* (*Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf.) é originária da América Central, sendo encontrada, naturalmente, em Belize, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicarágua e México (PERRY JÚNIOR, 1991) (Figura 8). As árvores, comumente, apresentam em torno de 30 m de altura e DAP de 80 cm, podendo, no entanto, atingir 45 m de altura e 135 cm de DAP. Geralmente, o tronco é reto e bem formado, não apresentando excesso de

ramificação. Uma das características marcantes desta variedade é a alta frequência de árvores com crescimento anormal conhecido como *fox-tail* ou “rabo-de-raposa” em que somente o broto terminal segue crescendo, sem ramificações laterais. A madeira formada em árvores com esse padrão de crescimento torna-se quebradiça e de baixa qualidade física e mecânica por causa da grande proporção de madeira de compressão e de fibras anormais. Normalmente, ocorre maior frequência de *fox-tail* em locais com alta precipitação e sem déficit hídrico. Esta é uma característica que, felizmente, apresenta um controle genético moderado. Mediante seleção de matrizes, a ocorrência desse defeito tem reduzido significativamente.

Plantios comerciais de *P. caribaea* var. *hondurensis* são recomendados em toda a região tropical brasileira, exceto no Semi-árido (GOLFARI, 1967). Sua madeira é de densidade moderada a baixa, mas de grande utilidade geral. Além disso, ela produz resina em quantidade viável para exploração comercial.

Dentre as espécies de pínus tropicais, *P. caribaea* var. *hondurensis* é a mais plantada no mundo. Isto pode ter relação com a grande amplitude de condições ambientais nas suas origens, que abrange altitudes desde o nível do mar até 1.000 m (HODGE; DVORAK, 2001), favorecendo a ocorrência de variabilidade genética ligada à adaptação a variadas condições ecológicas. Entre as variantes geográficas mais importantes estão as procedências litorâneas e as das montanhas, no interior do continente. As litorâneas localizam-se em áreas frequentemente afetadas por furacões e tempestades tropicais. Assim, o material genético dessa origem inclui indivíduos



Figura 8. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 15 anos em Ventania, PR. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

selecionados, naturalmente, ao longo dos milênios, com características de maior resistência ao tombamento pelos ventos e menor propensão à quebra de fuste do que as procedências do interior do continente. Essas diferenças ficaram evidentes em experimentos no Sudeste do Brasil onde, após a ocorrência de ventanias, somente as árvores das procedências litorâneas permaneceram ilesas.

Uma das maiores limitações no uso e no melhoramento genético desta variedade é que os locais propícios para o seu crescimento e produção de madeira não são, necessariamente, os mais adequados para a sua reprodução. Ela requer condições

ecológicas específicas para produzir sementes como no litoral da Bahia e do Espírito Santo, bem como na Chapada dos Parecis, no sul de Rondônia. Nesses locais, os primórdios das estruturas reprodutivas (coneletes) podem ser observados desde o terceiro ano após o plantio no campo.

Na planície litorânea de Queensland, Austrália, a variedade *hondurensis* tem apresentado alto incremento volumétrico, desde que o solo não seja encharcado. Por outro lado, *P. elliotii* produz madeira de alta qualidade física e mecânica, além de suportar sítios temporariamente alagados. Assim, a estratégia local de melhoramento genético incluiu a exploração da superioridade dos híbridos interespecíficos de *P. elliotii* com *P. caribaea* var. *hondurensis*, mediante polinizações controladas. Conseguiu-se, com isso, gerar árvores com alto incremento volumétrico, semelhante ao de *P. caribaea* var. *hondurensis*, produzindo madeira de qualidade física e mecânica semelhante à de *P. elliotii*. No entanto, a superioridade dos híbridos só pode ser assegurada se os parentais de cada espécie forem, também, de alto valor genético. Portanto, é indispensável manter programas contínuos de melhoramento genético, separadamente para cada "taxon", visando à geração de híbridos de alta produtividade em ambientes sujeitos a constantes mudanças.

P. caribaea Morelet var. *bahamensis* Barr. & Golf. destaca-se como uma das mais importantes para a produção de madeira e resina na Região Sudeste brasileira. Suas origens são as Ilhas Bahamas, em áreas separadas por até 600 km. Uma das áreas é formada pelas Ilhas Grand Bahamas, Great Ábaco, Andros e New Providence, entre 23° N e 27° N; a segunda área inclui as Ilhas Caicos, entre 21° N e

22° N. Esses locais estão praticamente ao nível do mar, atingindo, no máximo, 30 m de altitude. O clima é tropical (25 °C), sub-úmido (chuvas anuais de 700 mm a 1.300 mm), com períodos de seca de seis meses e solos alcalinos (pH 7,5 a 8,5). O crescimento desta variedade é intermediário entre o de *P. caribaea* var. *caribaea* e o de *P. elliotii* (BARRETT; GOLFARI, 1962). Ela é recomendada para plantio na mesma faixa de ambientes indicada para a variedade *hondurensis* (GOLFARI, 1967). No entanto, plantios exploratórios em regiões tropicais e subtropicais têm mostrado que a variedade *bahamensis* cresce bem mesmo em altitudes maiores que 700 m e resistem bem a geadas.

Variações genéticas em crescimento, forma e produção de resina, em testes de progênies, foram relatadas em vários estudos (SEBBENN et al., 1994; ZHENG et al., 1994; GURGEL GARRIDO et al., 1996; 1999; MISSIO et al., 2004; FREITAS et al., 2005). Ganhos genéticos mediante seleção de matrizes foram estimados em até 23,4 % em altura, 30,6 % em DAP (ZHENG et al., 1994), 8,3 % em volume real (SEBBENN et al., 1994) e 46,2 % na produção de resina (GURGEL GARRIDO et al., 1999).

Um dos obstáculos para a sua ampla utilização nos plantios comerciais é a dificuldade na produção de sementes. Sua madeira tende a ser mais densa e, portanto, de melhor qualidade física e mecânica do que da variedade *hondurensis*. Ela, também, apresenta os mesmos problemas de *fox-tail*, como se verifica na variedade *hondurensis*.

A variedade *caribaea* (*P. caribaea* Morelet var. *caribaea* Bar. et Gol.) é endêmica na ilha de Cuba, ocorrendo entre a província de Pinar

del Rio e a Isla de la Juventud, entre 21° 40' N e 22° 50' N, em altitudes variando de 45 m a 355 m. A precipitação média na sua origem varia entre 5 °C a 25,5 °C. A precipitação pluviométrica nestes locais varia de 1.200 mm a 1.600 mm anuais e os solos são ácidos (pH 4,5 a 6,0). Esta variedade é recomendada para plantio em regiões quentes, tanto para a produção de madeira quanto de resina. Uma de suas características é o fuste exemplar, geralmente reto, com ramos numerosos, mas curtos e finos. Ela, também, apresenta dificuldade para produzir sementes no Brasil, exceto em alguns locais específicos.

3.6. *Pinus oocarpa*

Pinus oocarpa Schiede está entre as espécies de pinus tropicais mais difundidas pelos trópicos. Ela é originária do México e América Central, com ampla distribuição natural no sentido noroeste-sudeste. Ela ocorre entre os limites de 12° N a 27° N, estendendo-se do México até a Nicarágua, passando por Belize, Guatemala e Honduras. Nestes países, *P. oocarpa* é encontrado em altitudes variando de 600 m a 2.500 m (GREAVES, 1980), em regiões com estações secas, às vezes severas, com períodos de até seis meses com precipitações menores que 50 mm e temperatura média mensal de 26 °C a 36 °C (KEMP, 1973). A espécie ocorre, mais freqüentemente, em solos bem drenados ao longo das encostas das montanhas entre 700 m e 1.500 m de altitude. Porém, na

parte norte de sua área de distribuição, ela pode ser encontrada a 2.500 m de altitude (STYLES, 1983).

As condições ecológicas no habitat natural do *P. oocarpa* variam desde clima temperado-seco, com precipitação pluviométrica entre 500 mm e 1.000 mm até subtropical úmido, com precipitação pluviométrica em torno de 3.000 mm anuais. O melhor desempenho desta espécie é observado no planalto, especialmente no Cerrado, dada a sua tolerância à seca. Sua madeira é moderadamente dura e resistente, de alta qualidade para produção de peças serradas para construções e fabricação de chapas. Além de madeira, *P. oocarpa* produz, também, resina em quantidade viável para extração comercial. Esta espécie produz muitas sementes, facilitando a expansão dos seus plantios. Locais de baixa altitude ou planícies costeiras não são ambientes propícios para o seu desenvolvimento.

P. oocarpa tolera geadas moderadas após a fase inicial de plantio e tem sido recomendado para plantios em uma ampla área do Brasil (GOLFARI, 1967). No Estado de São Paulo, a espécie tem apresentado bom crescimento na região de Angatuba (Figura 9), Agudos (KAGEYAMA, 1977), Bebedouro, Moji Mirim e Assis (ROSA, 1982), bem como nos estados do Pará (WOESSNER, 1983) e Rio Grande do Sul (BERTOLANI, 1983).



Figura 9. *Pinus oocarpa* de 22 anos na região de Angatuba, SP. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.7. *Pinus maximinoi*

Pinus maximinoi H. E. Moore é uma espécie que ocorre desde Semola (México) até o norte

da Nicarágua (DVORAK; DONAHUE, 1992; PERRY JÚNIOR, 1991), em altitudes entre 600 m até 2.400 m, embora os melhores povoamentos com as maiores taxas de crescimento e melhores formas sejam encontrados em altitudes entre 800 m e 1.500 m, em solos bem drenados e férteis (DVORAK; DONAHUE, 1992). Anteriormente, era conhecida como *P. tenuifolia*. Trata-se de uma espécie produtora de madeira de coloração clara, de alta resistência. No Brasil, por estar plantada apenas em caráter experimental, com material genético ainda não melhorado, há grande variação na forma e vigor. Porém, com trabalhos básicos de melhoramento genético, grande parte dos defeitos poderá ser eliminada rapidamente. Portanto, esta é mais uma espécie que poderá figurar como opção para a diversificação de espécies em plantios destinados à produção de madeira sólida. Seu crescimento tem sido maior que das demais espécies do gênero, usadas tradicionalmente na silvicultura intensiva, tendendo, inclusive, a produzir alta frequência de árvores com *fox-tail*. Uma limitação para o seu plantio no Sul do Brasil é a baixa resistência a geadas (Figura 10). A densidade da madeira varia entre 0,32 e 0,51 g/cm³ e o seu uso potencial inclui a fabricação de papel e celulose, produção de resina, madeira para usos gerais e para a fabricação de móveis (PERRY JÚNIOR, 1991).



Figura 10. *Pinus maximinoi* aos 15 anos em Ponta Grossa, PR. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.8. *Pinus greggii*

Pinus greggii Engelm. é uma espécie mexicana que, em estado natural, se encontra em duas regiões com características ambientais distintas: 1) região Norte do México, nos estados de Coahuila e Nuevo León, em altitudes entre 2.300 m e 2.700 m, em solos de reação neutra a alcalina, em ambiente semi-árido, com precipitação média anual entre 400 mm e 600 mm; e 2) região Central, em altitudes entre 1.200 m e 1.800 m, nos estados de San Luís Potosí, Hidalgo e Puebla, em solos ácidos, com precipitação entre 700 mm e

1.600 mm anuais. Por essas características, fica claro que as procedências do segundo grupo têm maiores probabilidades de êxito em plantios no Sul do Brasil (Figura 11). Os experimentos instalados em vários locais têm demonstrado essa tendência, além de um claro sinal de má adaptabilidade das procedências da região Norte do México, em forma de árvores de baixo vigor, com acículas mais curtas e rígidas do que nas procedências da região Central, além de deformações severas no fuste e ramos. Entre as particularidades desta espécie, estão a resistência às geadas severas e a precocidade do florescimento. Desde o primeiro ano no campo, já podem ser observados primórdios de estróbilos femininos. Portanto, esta espécie tem grande potencial para geração de híbridos interespecíficos, visando à combinação de suas características favoráveis com as de outras espécies plantadas comercialmente na região. A madeira de *P. greggii* é amarela pálida e pouco resinosa, tendo sido testada e considerada de alta qualidade para produção de celulose e papel, bem como para madeira sólida. A sua densidade varia de 0,45 a 0,55 g/cm³. Dado o grande número de ramos que produz, se não for devidamente manejada, ela tende a concentrar um grande número de nós na madeira, tornando-se de baixa qualidade para o processamento industrial. No aspecto do seu melhoramento genético, o passo inicial seria o estabelecimento de povoamentos comerciais com sementes introduzidas da região Central do México. A partir dessa base genética, deverão ser selecionadas matrizes, levando-se em conta não somente as características de crescimento e forma, mas, também, as características físicas da madeira.



Figura 11. *Pinus greggii* aos 12 anos em Ponta Grossa, PR. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.9. *Pinus tecunumanii*

Pinus tecunumanii ou *Pinus patula* Schiede & Deppe ssp. *tecunumanii* (Equiluz & Perry) Styles tem sido objeto de disputa entre os botânicos (STYLES; HUGHES, 1988) quanto à classificação taxonômica do que se convencionou denominar *Pinus tecunumanii*. Alguns acreditam que *P. patula* ssp. *tecunumanii* deve ser considerada uma espécie distinta de *P. tecunumanii*, enquanto que outros a consideram como uma subespécie do *P. patula* (EQUILUZ; PERRY, 1983). *P. tecunumanii* é indicada para plantios comerciais nas regiões tropicais brasileiras

devido ao seu rápido crescimento, boa forma do fuste e baixa ocorrência de *fox-tail*. A árvore pode atingir 50 m de altura e 120 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), com tronco reto e, geralmente, livre de ramos até 20 m a 30 m de altura (Figura 12). A madeira é de excelente qualidade (STYLES; HUGHES, 1988), de características favoráveis para a produção de pasta mecânica e celulose kraft (SILVA JÚNIOR et al., 1993).

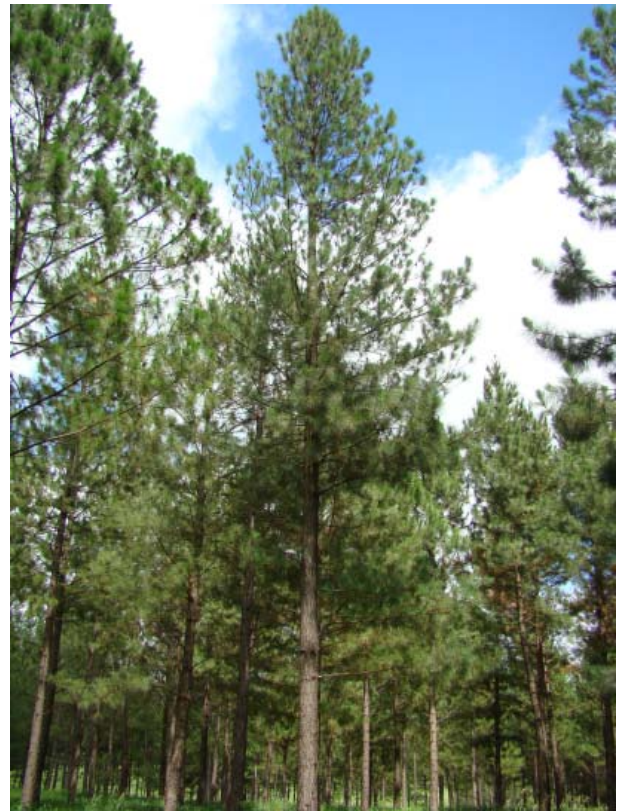


Figura 12. *Pinus tecunumanii* de 10 anos, em Presidente Castelo Branco, PR. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

Pinus tecunumanii ocorre desde 600 m até 2.400 m de altitude, formando populações pequenas e isoladas, em forma de ilhas, no alto das montanhas (BIRKS; BARNES, 1990).

Embora seja encontrada em forma de povoamentos puros, na maioria das vezes, ela ocorre associada a *P. oocarpa* var. *ochoterena*, *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. maximinoi*, *P. oaxacana*, *P. nubicola* e *P. ayaraciflua* (STYLES; HUGHES, 1988). Várias procedências como Camélias, Yucul e San Rafael (Nicarágua), e Mountain Pine Ridge (Belize), foram, inicialmente, confundidas com variações geográficas de *P. oocarpa* (GREAVES, 1983; ETTORI et al., 2002). Suas características, tanto morfológicas quanto de crescimento mais rápido que de *P. oocarpa*, deixaram claro que se tratava de uma espécie distinta. As procedências de altitudes maiores que 1.500 m têm apresentado alta suscetibilidade à quebra de fuste pelo vento. Sua madeira apresenta densidade maior que 0,40 g/cm³ e menor teor de resina do que *P. oocarpa*. A madeira adulta começa a ser formada, aproximadamente, a partir dos 10 anos de idade. Além disso, a variação interna em densidade da madeira, tanto no sentido medula-casca quanto no sentido longitudinal do tronco é substancialmente menor que em outras espécies, como *P. patula* e *P. taeda*. Comparativamente às demais espécies, *P. tecunumanii* apresenta maior homogeneidade nas características físicas da madeira, conferindo melhor qualidade e valor para processamento industrial.

Um estudo internacional conduzido pelo Oxford Forestry Institute (Inglaterra), envolvendo as procedências Camélias, Yucul e San Rafael del Norte, da Nicarágua, e Mountain Pine Ridge, de Belize, em onze locais (Austrália, Brasil, Congo, Equador, Fiji, Costa do Marfim, Quênia, Porto Rico, África do Sul, Tailândia e Zâmbia), possibilitou a detecção de variações significativas entre procedências

quanto à altura e ao volume, em vários locais de experimentação (BIRKS; BARNES, 1990). Contudo, as três procedências nicaragüenses apresentaram desempenhos similares entre si, enquanto que a procedência Mountain Pine Ridge apresentou menor produtividade, alta frequência de *fox-tail* e alta proporção de alfa e beta-pineno, além de menor proporção de delta-3-careno (BIRKS; BARNES, 1990).

Um teste de procedências e progênies no Município de São Simão, SP, aos 18 anos de idade, indicou as procedências San Esteban e Villa Santa (Honduras) como altamente produtivas, enquanto que Las Piedrecitas, México, foi considerada sem perspectiva para a região. A procedência San Rafael del Norte (Nicarágua) apresentou a melhor forma do fuste, enquanto que Mountain Pine Ridge (Belize) produziu os fustes de pior qualidade (SEBBENN et al., 2005).

Estudos comparativos desta espécie revelaram maior crescimento em volume sem casca e maior teor de matéria seca do que *P. oocarpa*, em Agudos, SP (WRIGHT et al., 1989). Lima (LIMA, 1991) observou menor frequência de *fox-tail*, melhor forma de fuste e maior diâmetro dos ramos em relação a *P. oocarpa* em Felixlândia, MG. Isso mostra que a espécie é altamente potencial para plantios comerciais no Sudeste brasileiro, usando-se as procedências mais adequadas para a região.

No Brasil, *P. tecunumanii* tem grande potencial para plantios comerciais, dada a facilidade de adaptação e a baixa incidência de *fox-tail*. O ambiente ideal para o seu desenvolvimento é caracterizado por solos ácidos e argilo-arenosos, com pelo menos 40 cm de profundidade, boa drenagem e precipitação pluviométrica de, pelo menos, 1.000 mm anuais.

Nos cerrados da região central do Brasil, foi observado o maior crescimento nos materiais genéticos oriundos da parte meridional da sua área de distribuição natural, de altitudes em torno de 1.000 m. Entre os pontos fracos da espécie, podem ser destacados a baixa resistência às geadas, a alta suscetibilidade à quebra de fuste pelo vento e a baixa produção de sementes. Esta última característica, em particular, pode ser solucionada, gradativamente, mediante seleção em favor de matrizes mais prolíficas e pesquisas de campo para localizar os ambientes mais favoráveis à sua reprodução. A tendência à quebra de fuste, também, é um caráter de herdabilidade moderada a alta, o que significa que se trata de um defeito relativamente fácil de ser corrigido por meio da seleção de matrizes.

Um aspecto importante é que *P. tecunumanii* pode ser enxertado sobre porta-enxertos de outras espécies como *P. caribaea*, *P. patula*, *P. elliottii* e *P. oocarpa*. Isso permite a formação de pomares clonais com materiais genéticos selecionados, mesmo que não haja sementes disponíveis da mesma espécie para a formação de porta-enxertos. Esta espécie pode ser cruzada, artificialmente, com outras como *P. patula*, *P. greggii*, *P. elliottii*, *P. taeda*, *P. oocarpa* e *P. caribaea*. O híbrido gerado com esta última tem apresentado crescimento e densidade da madeira mais altos do que de ambas as espécies parentais. Isto é muito importante na implementação de programas de silvicultura intensiva baseada em propagação vegetativa massal de híbridos.

3.10. *Pinus chiapensis*

Pinus chiapensis (Mart.) Andresen é a única espécie do grupo chamado de “pínus brancos” que se adaptou bem no Brasil. Ela é natural do México e América Central, de altitudes entre 150 m e 2.300 m. Seu ambiente natural é caracterizado por precipitações pluviométricas elevadas, variando de 1.300 mm até 3.000 mm anuais. Portanto, supõe-se que não seja tolerante à deficiência hídrica. Sua madeira é esbranquiçada, macia e de baixa densidade (0,34 a 0,36 g/cm³). Além disso, a variação na densidade da madeira é mínima, tanto no sentido medula-casca quanto no sentido longitudinal. A homogeneidade nessa característica física é muito importante para os processos industriais. A madeira é muito utilizada na fabricação de móveis, molduras e revestimentos interiores. Na fase inicial de estabelecimento, esta espécie tem a tendência de produzir fustes múltiplos e troncos com casca fina, muito suscetível aos danos mecânicos e ao fogo. Portanto, um trabalho de manejo é fundamental, fazendo-se o raleio para deixar somente um fuste por planta e adotando-se as devidas medidas de proteção.

No Brasil, *Pinus chiapensis* tem apresentado rápido crescimento e alta produtividade de madeira na região central do Estado de São Paulo, na Zona da Mata de Minas Gerais e no norte do Paraná (Figura 13). No entanto, ainda não é plantada, comercialmente, devida à falta de tradição no uso deste tipo de matéria-prima, e principalmente, à falta de sementes para operações em grande escala.



Figura 13. *Pinus chiapensis* aos 15 anos em Ventania, PR. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

3.11. *Pinus kesiya*

Pinus kesiya Royle et Gordon é uma espécie de origem asiática com potencial para produção de madeira e resina nas regiões tropicais. Ela engloba o grupo anteriormente chamado de *P. insularis*, que ocorre na Ilha Mindoro, nas Filipinas, e os grupos chamados *P. khasya* e *P. yunnanensis* de países do sudeste Asiático, parte da China e Índia. Experimentos instalados no Cerrado da região central do Brasil têm demonstrado rápido crescimento e intensa produção de sementes. Esta espécie constitui uma alternativa viável para produção de madeira em ambientes tropicais sujeitos à deficiência hídrica. Porém,

seu manejo requer cuidado especial nos regimes de desrama, visto que ela produz uma grande quantidade de ramos persistentes desde a base do tronco.

3.12. *Pinus merkusii*

Pinus merkusii Jungh. et De Vriese é uma espécie tropical do sudeste da Ásia. Ela ocorre, naturalmente, em Mianmar, Tailândia, Laos, Camboja, China e Vietnam, bem como nas ilhas da Sumatra na Indonésia e Luzon e Mindoro nas Filipinas. A árvore apresenta geralmente 30 m a 50 m de altura, podendo atingir 70 m e o DAP pode variar de 60 cm a 80 cm (DE LAUBENFELS, 1988). Esta é a espécie de *Pinus* que apresenta distribuição geográfica mais ao sul do que qualquer outra do gênero, chegando a 2° 06' de latitude Sul, nas ilhas da Sumatra. Ela é encontrada em altitudes desde o nível do mar até 2.000 m, preferencialmente entre 800 m e 2000 m. Os povoamentos com os maiores desenvolvimentos são encontrados ao longo do Lago Toba, no norte de Sumatra (DE LAUBENFELS, 1988).

No Brasil, existem apenas alguns plantios em escala experimental (Figura 14), sem informação detalhada sobre as origens. De maneira geral, seu fuste é reto, com ramos finos e numerosos. Porém, devido ao crescimento mais lento do que as espécies tradicionalmente usadas na região, ele não tem despertado interesse para plantios comerciais. A madeira é de alta densidade, variando de 0,88 a 0,96 g/cm³ (madeira pesada), de utilidade para diversas aplicações como na construção civil e naval, marcenaria, produção de celulose e papel etc. A espécie produz resina que pode ser explorada em escala comercial. A produtividade observada tem sido

da ordem de 3 a 4 kg/árvore ao ano (FOREST INVENTORY AND PLANNING INSTITUTE, 1996).



Figura 14. *Pinus merkusii*, aos 35 anos, em Capão Bonito, SP. Foto: Jarbas Y. Shimizu.

4. Melhoramento Genético e Oportunidades Futuras

Quando não se dispõe de informação técnica sobre o desempenho de espécies florestais em um ambiente exótico, a melhor orientação a seguir na escolha de espécies e procedências são as analogias climáticas e das características do solo entre os locais de origem e os da região onde se pretende plantar. Várias espécies foram introduzidas no Brasil com base nesse princípio. Porém, quando se

busca maior refinamento visando maximizar a produtividade, torna-se essencial um estudo detalhado das variáveis ambientais predominantes nas origens das espécies a serem introduzidas e nos locais de plantio, especialmente quanto aos fatores como temperatura mínima, deficiência ou excesso hídricos, profundidade e características químicas do solo. Essas informações, complementadas com dados experimentais que comprovem ou refutem o desempenho esperado das espécies nos variados locais de plantio, possibilitarão uma definição segura quanto às espécies e procedências mais promissoras em cada situação ecológica.

A destinação do material genético apropriado para cada ambiente é essencial para o sucesso dos empreendimentos florestais. Este desafio se aplica, também, na escolha dos genótipos para cada tipo de sítio, visto que, na maioria das espécies, ocorrem interações genótipo-ambiente substanciais. Quando não se leva em conta este aspecto, corre-se o risco de se desperdiçar investimentos que seriam destinados ao desenvolvimento ou à aquisição de materiais genéticos melhorados. Tanto a geração de genótipos superiores quanto a determinação da melhor forma de sua utilização são temas tratados na implementação de programas de melhoramento genético, especificamente para a referida espécie, para a região onde será plantada e para o tipo de matéria-prima desejado.

Na maioria dos plantios de pínus no Brasil, o material genético em uso costuma não ser o mais adequado para o seu propósito nesse local, visto que, na melhor das hipóteses, as sementes ou mudas são provenientes de pomares formados com genótipos

selecionados em uma região distante, para atender os requisitos de um segmento industrial distinto. Pode-se dizer que, em operações florestais envolvendo plantios regulares de pelo menos 200 ha/ano, torna-se indispensável um programa de melhoramento genético para atender os seus objetivos específicos.

5. Referências

- BARRETT, W. H. G.; GOLFARI, L. Descripción de los nuevos variedades del "pino del caribe". **Caribbean Forester**, n. 23, p. 59-71, 1962.
- BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v.18, n. 1, p. 23-38. 1986.
- BERTOLANI, F. Programas em andamento e problemas básicos em florestas implantadas de pinheiros tropicais. **Silvicultura**, São Paulo, ano 8, n. 29, p. 1-4, 1983. Edição dos Anais do Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento, 1980, Águas de São Pedro. Fast growing trees.
- BIRKS, J. S.; BARNES, R. D. **Provenance variation in *Pinus caribaea*, *P. oocarpa* and *P. patula* ssp. *tecunumanii***. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1990. 40 p. (Tropical forestry papers, 21).
- BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. **Silvics of North America**: conifers. Washington, DC: USDA, Forest Service, 1990. v. 1, 675 p. (USDA. For. Serv. Agric. Handbook, 654).
- CRITCHFIELD, W. B.; LITTLE JÚNIOR, E. L. **Geographic distribution of the pines of the world**. USDA, Forest Service, 1966. 97 p. (USDA. Misc. Publ., 991).
- DE LAUBENFELS, D. J. Coniferales. In: VAN STEENIS, C. G. G. J.; de WILDE, W. J. J. O. (Eds.), **Flora Malesiana**. Dordrecht: Kluwer Academic. Series I, Serratophyta. Flowering Plants., v. 10, part. 3, p. 337-453, 1988.
- DORMAN, K. W.; SQUILLACE, A. E. **Genetics of slash pine**. USDA For. Serv. Res. Pap. WO-20. 20 p. 1974.
- DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. **CAMCORE**: cooperative review 1980-1992. Raleigh: North Carolina State University, College of Forest Resources, 1992. 94 p.
- EQUILUZ, P. T.; PERRY JUNIOR, J. P. *Pinus tecunumanii* una especie nueva de Guatemala. **Ciencia Forestal**, n. 41, p. 3-22, 1983.
- ETTORI, L. C.; SEBBENN, A. M.; SATO, A.; MORAES, E. Teste de procedências de *Pinus oocarpa* Schiede em três locais do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, n. 14, p. 39-51, 2002.
- 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. **Memórias...** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 19-66. (Embrapa Florestas. Documentos, 56).
- FOWELLS, H. A. (Comp.). **Silvics of forest trees of the United States**. Washington, DC: USDA, Forest Service, 1965. 761 p. (USDA. For. Serv. Agric. handbook, 271)
- FOREST INVENTORY AND PLANNING INSTITUTE. **Vietnam forest trees**. Hanoi: Agricultural Publ., 1996. 23 p.
- FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; MORAES, E.; ZANATTO, A. C. S.; SOUSA, C. M. R.; LEMOS, S. V. Estimativa de parâmetros genéticos e ganhos na seleção em *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, n. 17, p. 103-111, 2005.
- GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 6, n. único, p. 7-62, 1967.
- GREAVES, A. Status of the international provenance trial of Mexican *Pinus oocarpa* Schiede provenances, 1980. In: **Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento**. Águas de São Pedro, 1980. 8 p. (datilografado).

- GREAVES, A. Revisão dos testes internacionais de procedências de *Pinus caribaea* Morelet e *Pinus oocarpa* Schiede. **Silvicultura**, São Paulo, ano 8, n. 29, p. 13-17, 1983. Edição dos Anais do Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento, 1980, Águas de São Pedro. Fast growing trees.
- GURGEL GARRIDO, L. M. do A.; ROMANELLI, R. C.; GARRIDO, M. A. Variabilidade genética de produção de resina, DAP e altura em *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. **Revista do Instituto Florestal**, n. 8, p. 89-98, 1996.
- GURGEL GARRIDO, L. M. do A.; GARRIDO, M. A. O.; PIRES, C. L. S.; PALOMO, M. Variação genética em progênies e procedências de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. para produção de resina e características de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, n. 11, p. 105-121, 1999.
- HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in 48 international trials. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, p. 496-511, 2001.
- KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética entre procedências de *Pinus oocarpa* Schiede na região de Agudos**. 1977. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- KEMP, R. H. Status of the C.F.I. international provenance trial of *Pinus oocarpa* Schiede. In: BURLEY, J.; NIKLES, D. G. (Ed.). **Tropical provenance and progeny research and international cooperation**. Oxford. Commonwealth Forestry Institute, 1973. v. 1, p. 76-82.
- KRONKA, F. J. N.; BETOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160 p.
- LIMA, R. T. Comportamento de espécies/procedências tropicais do gênero *Pinus* em Felixlândia/MG-Brasil, Região de Cerrado: 2 – *Pinus patula* ssp. *tecunumanii*. **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 1-9, 1991.
- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996. 158 p.
- MISSIO, R. F., CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; PAULA, R. C. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 161-166, 2004.
- PERRY JÚNIOR, J. P. **The pines of Mexico and Central America**. Portland, Timber Press, 1991. 231 p.
- ROSA, P. R. F. **Teste de procedências de *Pinus oocarpa* Schiede em três regiões do Estado de São Paulo**. 1982. 84 f. Dissertação (Mestrado) - UNESP, Jaboticabal.
- SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine: the ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. Washington, DC: USDA, Forest Service, 1997. (USDA. For. Serv. Agricultural Handbook, 713).
- SEBBENN, A. M.; PIRES, C. L. S.; CUSTÓDIO FILHO, A.; ROSA, P. R. F. Variação genética em progênies de meios-irmãos de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et. Gol. na Região de Bebedouro, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 6, n. único, p. 63-73, 1994.
- SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, E.; ZANATTO, A. C. S. Variação genética em procedências e progênies de *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* no noroeste do Estado de São. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 1-15, 2005.
- SILVA JUNIOR, F. G.; BARRICHELO, L. E. G.; SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* visando a produção de celulose Kraft e pasta mecânica. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 26., 1993, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1993. p. 357-365.
- STYLES, B. T. Taxonomia, variação e exploração de *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa* no México e América Central. **Silvicultura**, São Paulo, ano 8, n. 29, p. 144-146, 1983. Edição dos Anais do Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento, 1980, Águas de São Pedro. Fast growing trees.
- STYLES, B. T.; HUGHES, C. E. **Variabilidad de los *Pinus* centroamericanos: taxonomia y nomenclatura de los *Pinus* y otras gimnospermas**. Honduras: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Centro Nacional de Investigación Forestal Aplicada, 1988. 20 p.

WOESSNER, R. A. Programa de melhoramento genético de pinheiros em Jarí. **Silvicultura**, São Paulo, ano 8, n. 29, p. 153-155, 1983. Edição dos Anais do Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento, 1980, Águas de São Pedro. Fast growing trees.

WRIGHT, J. W.; GIBSON, G. L.; BARNES, R. D. Variación en volumen y densidad de la madera de ocho procedencias de *Pinus oocarpa* y *P. patula* ssp. *tecunumanii* en Conocoto, Ecuador. **IPEF**, n. 41/42, p. 5-7, 1989.

ZHENG, Y.; ENNOS, R.; WANG, H. Provenance variation and genetic parameters in a trial of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. and Golf. **Forest Genetics**, n. 1, p. 167-174, 1994.

ZOBEL, B. Loblolly pine: in retrospect. In: SYMPOSIUM ON THE LOBLOLLY PINE ECOSYSTEM (EAST REGION), 1982, Raleigh. **Proceedings**. Raleigh: North Carolina State University, College of Forest Resources, [1983]. p. 1-6.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, J. Wiley, 1984. 505 p.

Meio Físico para o Crescimento de *Pinus*: Limitações e Manejo

Renato Antonio Dedecek

1. Introdução

Entre os fatores do ambiente que podem condicionar o crescimento das plantas, o solo é um dos mais influentes, tanto pelas suas características químicas quanto físico-hídricas e biológicas. É, também, entre os fatores naturais que afetam a produtividade das plantas, o mais facilmente modificável pelo manejo. Isto o torna extremamente vulnerável às mudanças nas suas características, levando à sua degradação, que pode dificultar o crescimento das plantas ou mesmo a recuperação das suas características.

A maioria dos solos no Brasil é pobre em nutrientes, mas as florestas naturais não apresentam sintomas de deficiência nutricional, principalmente porque, na sua ciclagem, a oferta está em equilíbrio com as demandas. A substituição de florestas naturais por plantações florestais de ciclo rápido altera os processos naturais de ciclagem e armazenamento de nutrientes devido, principalmente, às mudanças na qualidade da matéria orgânica, causadas pelas práticas de manejo. Isto dificulta a sustentabilidade do sítio, dado o importante papel que a matéria orgânica exerce nas características químicas físicas e biológicas do solo (NAMBIAR; BROWN, 1997).

O ambiente físico do solo é o componente mais importante que afeta a produtividade do sítio, pois ele influencia o crescimento das plantas através das variações nos fatores como os fluxos de água, do ar e do calor, bem como a resistência ao crescimento das raízes e a disponibilidade de nutrientes (LAL; GREENLAND, 1979). Quando a estrutura do solo é alterada, pode haver uma redução no crescimento do sistema radicular devido à redução no volume de solo explorado pelas raízes, menor fluxo de ar e da solução do solo (WOLKOWSKI, 1990).

Os nutrientes chegam à superfície das raízes por três mecanismos: interceptação, fluxo de massa e difusão. A contribuição da interceptação é pequena, uma vez que as raízes ocupam 1 % do volume de solo. Os mecanismos de difusão e de fluxo de massa são importantes e acompanham a movimentação da água do solo causada pela demanda da planta (SMETHURST, 2000). Em um solo com macroporosidade excessiva, é difícil formar um fluxo contínuo de água que possibilite o funcionamento dos mecanismos de movimentação dos nutrientes no solo. Por outro lado, em solos com dominância de microporosidade, há mais poros cheios de água, facilitando os fluxos de massa e a difusão dos nutrientes. Mas há, também, maior

dificuldade na circulação do ar no solo e a oxigenação deficiente prejudica a atividade das raízes.

O gênero *Pinus* pode ser considerado como pouco exigente quanto à fertilidade do solo, principalmente nas primeiras rotações. Porém, níveis diferenciados de produtividade têm sido observados em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984; MENEGOL, 1991; LASO GARICOITS, 1990). No entanto, existe uma grande diferença entre sobreviver e crescer de forma a produzir retorno econômico. Apesar das plantas possuírem mecanismos de compensação para superar as deficiências provocadas pelas condições edáficas hostis, estas podem acarretar redução no crescimento da floresta, redução na regeneração natural, prejuízo no desenvolvimento das mudas e até a morte de árvores adultas.

As propriedades físicas do solo são importantes determinantes da sua fertilidade. Elas controlam a entrada de água no solo, influenciam a sua capacidade de armazenar água e de disponibilizá-la para as plantas, afetam a aeração do solo e determinam a resistência ao crescimento das raízes das plantas (LACEY, 1993).

2. Limitações Físicas do Solo ao Crescimento de Pinus

O planejamento do uso da terra é a alternativa mais adequada para melhorar, em termos qualitativos e quantitativos, a eficiência na produção florestal, bem como a preservação dos recursos naturais. Existem várias referências sobre insucessos no estabelecimento de povoamentos de *Pinus*, causados pela seleção inadequada dos sítios. Frequentemente, certas áreas são destinadas aos plantios florestais por não serem

adequadas para outras culturas. Isto é uma concepção errônea que pode ter sérias conseqüências sobre o êxito da plantação.

Os fatores físicos do solo como a capacidade de retenção de água, a profundidade efetiva do horizonte A e o grau de desenvolvimento do perfil do solo têm grande influência no crescimento de *Pinus taeda* (DOLDAN, 1990). Em *P. radiata*, Snowdon e Benson (1992) verificaram que o fornecimento de água ao solo aumenta o incremento anual em volume de madeira, enquanto que a adubação, como prática isolada, favorece apenas o aumento da biomassa da copa.

3. Profundidade Efetiva do Solo

Muitas tentativas de estabelecer relações diretas entre as características do solo e o crescimento das plantas não tiveram êxito, especialmente em estudos de grande escala. A única exceção se refere à profundidade efetiva do solo que, desde os primeiros estudos, vem demonstrando correlação positiva (SCHÖUNAU; ALDWORTH, 1991). Carvalho et al. (1999), também, apontaram a profundidade efetiva como a principal característica física do solo que afeta a produtividade de *Pinus taeda*.

A profundidade efetiva é a profundidade máxima que as raízes podem penetrar, sem impedimentos, no perfil do solo. Nem sempre ela se limita à profundidade dos horizontes A e B (CURI et al., 1993). A limitação para a expansão das raízes em profundidade pode ser de origem química (alta acidez, baixa fertilidade ou toxidez de algum elemento) ou física, pela presença de rocha, excesso de água (lençol freático próximo) ou camadas adensadas ou compactadas pelo uso intensivo do solo.

Matos e Keinert Júnior (2005) relataram a tendência de maior crescimento de *P. taeda*, tanto em diâmetro do tronco quanto em altura, à medida que aumenta a profundidade efetiva do solo. Bellote (2006) estabeleceu uma equação de regressão múltipla do crescimento de *Pinus taeda* sobre a profundidade efetiva e a disponibilidade de água no solo para a planta. Seus estudos mostraram que as profundidades de 20 cm a 30 cm são responsáveis por 90 % da variação no crescimento tanto em diâmetro quanto em altura das plantas. Além disso, mostraram que, em solos com profundidade efetiva média de aproximadamente 30 cm, árvores de *Pinus taeda* não chegam a produzir tora maior que 24 cm de diâmetro. Por outro lado, em solos sem restrição de profundidade, *P. taeda* da mesma idade produziu até cinco toras de 2,20 m de comprimento, com diâmetro requerido para desdobro (24 cm). Rigatto (2007) observou profundidades efetivas médias do solo de 63 cm, 96 cm e 111 cm, em três sítios distintos, sendo que as árvores de *Pinus taeda* nestes sítios atingiram alturas comerciais (diâmetro mínimo de 8 cm) de 13,4, 19,7 e 19,2 cm, respectivamente. Estes dados mostram que há uma limitação na profundidade efetiva do solo, possivelmente ao redor de 1 m, que exerce influência no desenvolvimento desta espécie.

A redução no crescimento de *P. taeda* em condições de pouca profundidade efetiva do solo resulta da necessidade de exploração de um volume maior de solo pelas raízes para obter água e nutrientes. Em solo fértil, sem deficiência pronunciada de umidade, mesmo com pouca profundidade efetiva, o prejuízo no desenvolvimento das plantas é menor do que em solos de baixa fertilidade. Juntamente

com a profundidade efetiva do solo, a sua textura também pode ter um papel importante no desenvolvimento das plantas. Isto porque ela influencia diretamente tanto a fertilidade quanto o armazenamento de água no solo. Os maiores efeitos negativos são observados em solos com alta proporção de areia.

4. Textura do Solo

A textura do solo refere-se à proporção relativa das frações areia, silte e argila que compõem a sua fase sólida. Esta é uma das características mais estáveis e de grande importância na produção agrícola e florestal (OLIVEIRA et al., 1992). A distribuição do tamanho das partículas tem sido usada em funções de pedotransferência (BOUMA, 1989) quando se procura estimar outras propriedades físicas e químicas do solo que demandem operações laboratoriais demoradas e onerosas. Assim, a textura tem sido usada para prever algumas propriedades químicas como a capacidade de troca de cátions e propriedades físicas como a retenção de umidade e a infiltração (FORSYTHE, 1980). Segundo Wischmeier e colaboradores (WISCHMEIER et al., 1971), 85 % da variação na erodibilidade do solo pode ser atribuída ao teor de areia muito fina e de silte. Esse é um dos componentes da equação universal da perda de solo.

Os solos argilosos costumam ser naturalmente mais férteis que os arenosos, embora possam apresentar drenagem insuficiente (ZOBEL et al., 1987). Os solos arenosos são mais suscetíveis à perda de matéria orgânica e à redução no teor de nutrientes, mas, menos propensos à redução na produtividade pela compactação do que os solos argilosos (FOX, 2000).

A textura do solo influencia a redução na porosidade causada pela compactação. Solos contendo uma mistura uniforme de areia, silte e argila atingem porosidades menores e, usualmente, densidades maiores do que solos com maior proporção de partículas do mesmo tamanho (BRYNES et al., 1982).

De maneira geral, independentemente da classe, o solo de textura argilosa propicia melhores condições de crescimentos ao *Pinus taeda* do que os arenosos (RIGATTO et al., 2004; LASO GARICOITS, 1990; SANTOS FILHO; ROCHA, 1987), especialmente em locais onde a vegetação original era floresta

(Tabela 1). Em povoamentos de *Pinus taeda* com 15 anos de idade, foram observadas alturas dominantes 31,5 % maiores em solos argilosos do que nos arenosos (CARVALHO et al., 1999).

Em sítios de melhor qualidade (solos com textura mais argilosa), *Pinus taeda* produz madeira menos densa, com maiores teores de extrativos e lignina, traqueídeos mais curtos e largos, com paredes mais finas e diâmetros do lúmen maiores, proporcionando menor rendimento em celulose do que a madeira produzida em sítios de baixa qualidade para a espécie (RIGATTO et al., 2004).

Tabela 1. Crescimento de *Pinus taeda* com 12 anos de idade, em diferentes tipos de sítio (RIGATTO et al., 2004).

Tipo de solo	Textura	Vegetação primária	Altura (m)*	DAP (cm)*
Cambissolo	Argilosa	Floresta	23,5 a	27,8 a
Latossolo	Argilosa	Floresta	22,2 ab	22,8 c
Cambissolo	Média	Campo	21,7 ab	22,7 c
Cambissolo	Argilosa	Campo	21,6 b	23,4 b
Latossolo	Argilosa	Campo	21,6 b	22,6 c
Cambissolo	Média	Floresta	21,1 b	23,6 b
Latossolo	Média	Campo	20,7 bc	24,0 b
Latossolo	Média	Floresta	19,0 c	23,4 b
Coeficiente de Variação (%)			4,2	1,7

* médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, com 95 % de probabilidade pelo Teste Tukey.

Todas as variáveis de avaliação do crescimento de *P. taeda* são afetadas pela textura do solo (Tabela 2) (DEDECEK et al., 2006). Solos de textura arenosa, sob um povoamento de *P. taeda* de 26 anos de idade, apresentam menores níveis de acidez trocável, capacidade de troca de cátions, carbono, fósforo, potássio, magnésio e zinco do que os solos argilosos (LASO GARICOITIS, 1990). As concentrações de potássio e de zinco nas acículas, também, tendem a ser menores nos solos arenosos do que nos argilosos.

As relações texturais entre as camadas superficiais e subsuperficiais do solo, também, são importantes para o crescimento das árvores. Elas têm influência na distribuição vertical da água da chuva no solo. Camadas subsuperficiais muito argilosas reduzem a velocidade de infiltração da água, causando saturação de água nas camadas superiores quando ocorrem chuvas intensas. Isso propicia o escoamento superficial e a erosão que, em casos extremos, pode ser por fluxo de massa. Solos com esta característica não devem ser preparados na época de maior incidência de chuvas.

Tabela 2. Crescimento de *Pinus taeda* com 22 anos de idade, em diferentes tipos de sítio (DEDECEK et al., 2006).

Solo	Textura	Vegetação original	DAP (cm)	Altura (m)*	Volume (m ³ /árv.)**
Cambissolo	média	floresta	43,7 a	26,2 b	1,38 a
Latossolo	argilosa	floresta	41,2 b	27,4 ab	1,25 ab
Cambissolo	argilosa	floresta	38,3 c	30,4 a	1,10 abc
Latossolo	argilosa	campo	38,0 c	29,4 ab	0,98 bc
Cambissolo	argilosa	campo	37,3 cd	26,2 b	0,83 cd
Latossolo	média	floresta	35,3 d	21,7 c	0,59 de
Latossolo	média	campo	35,0 d	21,9 c	0,59 de
Cambissolo	média	campo	34,3 d	20,2 c	0,47 e
Coeficiente de Variação (%)			1,9	4,7	12,4

* Altura total da árvore; médias seguidas pelas mesmas letras não diferem, estatisticamente, com 95 % de probabilidade, pelo teste Tukey.

** Volume de madeira para desdobro; médias seguidas pelas mesmas letras não diferem, estatisticamente, com 95 % de probabilidade, pelo teste Tukey.

Frações de areia mais finas favorecem a retenção de umidade e a compactação, enquanto que as mais grossas proporcionam condições para um arranjo com maior macroporosidade que favorecem a permeabilidade e a aeração do solo (RESENDE et al., 1992). Em solos arenosos, o grau de macroporosidade é um fator crítico para a escolha do sistema de preparo. Um solo arenoso preparado com subsolador de apenas uma haste apresentou maior crescimento do eucalipto, comparado a um solo, com as mesmas características, preparado com subsolador de três hastes (DEDECEK et al., 2006). A subsolagem de uma faixa maior de solo causou maior perda de água da camada superficial, diminuindo, assim, a sua disponibilidade para as plantas. Este é o fator mais limitante em solos arenosos do que a possível compactação.

5. Estrutura do Solo

O arranjo e a organização das partículas e dos poros no solo caracterizam a sua estrutura. Estas são tão variáveis quanto permitem as combinações das diferentes formas, tamanhos e orientação das partículas do solo. Os agregados formados são altamente instáveis quanto maior o seu tamanho, variando no tempo e no espaço. Portanto, não existe um método objetivo e universal para avaliar a estrutura do solo. Esta é uma propriedade qualitativa mais do que quantitativa (HILLEL, 1980).

A estrutura do solo é fortemente afetada pelas mudanças climáticas, atividades biológicas e práticas de manejo. Assim, ela é vulnerável à ação das forças destrutivas de natureza mecânica e fisicoquímica. Os vários métodos propostos para caracterizar a

estrutura do solo são de natureza indireta e são baseados na medição de atributos que, supostamente, dependem da estrutura do solo. Os valores da porosidade total e da distribuição do tamanho dos poros fornecem uma idéia de quanta água o solo pode armazenar e o padrão de sua movimentação. O efeito da estrutura do solo sobre as suas propriedades mecânicas pode ser avaliado pelo sucesso no desenvolvimento das plântulas. Portanto, as características estruturais do solo são aspectos cruciais na definição do tipo de preparo e das condições de tráfego de máquinas recomendáveis, pois têm grande influência sobre a produtividade, bem como na vulnerabilidade à erosão hídrica (FORSYTHE, 1980).

A densidade do solo (global ou aparente) é uma variável que permite avaliar, qualitativamente, a estrutura do solo. Ela se refere ao peso seco do solo por unidade de volume. Quanto menor a densidade, maior a proporção de espaço poroso no solo, menor a resistência à ação dos implementos e mais rápida a infiltração da água. No entanto, esta variável não dá indicação sobre o tamanho e a continuidade dos poros que determinam o fluxo do ar e da água no solo. Solos argilosos têm menor densidade, maior porosidade dominada por poros menores que reduzem os fluxos da água e do ar. Em contraste, solos arenosos têm maior densidade, maior macroporosidade e possibilita os fluxos de água e ar mais rápidos.

A textura do solo é um fator importante na determinação do valor absoluto da sua densidade. Portanto, comparações entre densidades de solos de diferentes texturas são difíceis. Para isto, usa-se a densidade relativa (SILVA; KAY, 1997), que indica a proximidade

da densidade atual do solo em relação à densidade máxima que ele pode atingir quando compactado. Quanto mais próximo da unidade estiver o valor da densidade relativa, mais compactado estará o solo.

A densidade global é indicativa de alterações no volume dos poros (VOORHEES et al., 1989). Comumente, os solos arenosos apresentam alta macroporosidade, enquanto que os argilosos tendem, facilmente, a formar camadas compactadas. Portanto, em solos de textura arenosa, o monitoramento das mudanças na sua densidade é a melhor forma de avaliar os efeitos da redução na porosidade. Por outro lado, em solos argilosos, a sua resistência física é a melhor indicadora do grau de compactação. Em solos arenosos, o volume de madeira da rebrota de *Eucalyptus saligna* é altamente correlacionado com a densidade global ($r^2=0,86$), enquanto que, em solos argilosos, o volume de madeira produzido é mais correlacionado com a resistência do solo ($r^2=0,93$) (DEDECEK; GAVA, 2005). Solos de textura média, com densidades maiores que $1,35 \text{ Mg.m}^{-3}$, acarretam redução no crescimento do caule e das raízes de *Pinus radiata*, da mesma forma como solos com resistência ao penetrômetro maior que 3 Mpa induzem à restrição no crescimento das raízes (SANDS et al., 1979).

Nos Estados Unidos, foi constatado que o aumento na densidade do solo, causado pela operação de colheita da madeira, acarreta redução na altura total, no diâmetro e no volume de *Pinus ponderosa*, da ordem de 5 % a 20 % (FROELICH et al., 1986). Na Austrália, em solos com densidade global de $0,69 \text{ Mg.m}^{-3}$, Rab (RAB, 1994) estimou reduções de mais de 50 % no incremento em altura e diâmetro de *Eucalyptus regnans*, quando as densidades

globais são elevadas para mais de $0,90 \text{ Mg.m}^{-3}$. Ele estimou, também, que os incrementos em altura e diâmetro cessariam quando as densidades globais do solo atingissem $1,32 \text{ Mg.m}^{-3}$ e $1,43 \text{ Mg.m}^{-3}$, respectivamente, sobretudo na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Halverson e Zisa (HALVERSON; ZISA, 1982) demonstraram que o aumento na densidade do solo reduz a profundidade de enraizamento de mudas de *Pinus nigra*.

A densidade de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso igual ou maior que $1,18 \text{ Mg.m}^{-3}$, independente da profundidade e da forma de preparo do solo, provoca severas restrições ao enraizamento de *Eucalyptus saligna* com 21 meses após o plantio (MACEDO; TEIXEIRA, 1988). Aumentos na densidade do solo, em áreas florestais, são comumente observados após a colheita da madeira, dependendo do tipo de maquinário empregado e do manejo de resíduos adotado. Rab (1996) constatou aumentos na densidade da camada superficial do solo da ordem de 53 % e 160 % sob a trilha de corte e no pátio de empilhamento de madeira, respectivamente, quando comparadas com as densidades nestas mesmas áreas antes da colheita.

As operações de limpeza com tratores de esteira e lâminas também alteram a densidade do solo. A densidade do solo chegou a $1,35 \text{ Mg.m}^{-3}$ após estas operações, enquanto que, em áreas não perturbadas, a densidade era de apenas $1,1 \text{ Mg.m}^{-3}$ (GHUMAN; LAL, 1992). Após operações efetuadas em período chuvoso, a densidade do solo chegou a $1,57 \text{ Mg.m}^{-3}$. Aumentos na densidade do solo de 0,7 para $1,0 \text{ Mg.m}^{-3}$ podem acarretar redução de até 71 % no crescimento das raízes principais e de 31 %

nas raízes laterais das plantas (LIPIEC et al., 1991). Isto reduz a capacidade das raízes de obter nutrientes do solo, prejudicando o crescimento das plantas.

Porosidade total é o espaço entre as partículas sólidas do solo que é ocupado pelo ar e água. Esta é outra característica do solo que serve como indicadora da qualidade da sua estrutura e inclui as porosidades macro e micro, bem como a porosidade de aeração. A macroporosidade compreende os poros maiores que 5 mm e é, normalmente, quantificada como o volume de poros compreendido entre a porosidade total e o volume de água retido a 6 kPa. O volume restante da porosidade total é denominado microporosidade. A porosidade de aeração é definida como o volume de poros ocupado pelo ar do solo e é determinada pela diferença entre a porosidade total e o volume de água retida a 10 kPa (capacidade de campo). Entre 10 % e 15 % da capacidade de campo são considerados os mínimos de porosidade de aeração necessários para permitir o crescimento das raízes (WEAVER; JAMISON, 1951). No entanto, Theodorou et al. (1991) constataram crescimento em *Pinus radiata*, ainda que reduzido, mesmo em condições de porosidade de aeração do solo menor do que dessa faixa.

O volume e o tamanho dos poros do solo são altamente dependentes da sua textura.

Solos com partículas uniformes são mais porosos e, quando a dominância é da fração areia, há maior macroporosidade, enquanto que os solos argilosos têm maior porosidade total e maior microporosidade (Tabela 3). Valores relativos de porosidade foram calculados, para cada profundidade, tomando-se a porosidade total (100 %) como referência. Assim, é possível comparar as porosidades de diferentes solos, uma vez que, à exceção da microporosidade, esta distinção não é tão visível quanto na comparação entre valores absolutos.

Os macroporos são os mais importantes para a drenagem do excesso de água e para a aeração do solo; os microporos são importantes para reter a água remanescente, responsável pela sobrevivência de muitas espécies de plantas. Em um mesmo tipo de solo, os macroporos contribuem para a redução da resistência ao penetrômetro e melhoram as condições de crescimento das plantas, tornando-as mais eficientes na absorção de nutrientes. Maior teor de Ca tem sido observado nas acículas e na casca de *Pinus taeda* crescendo em solos com maior macroporosidade e menor resistência ao penetrômetro (DEDECEK et al., 2000; 2006). As correlações dos teores de Ca nas acículas com a porosidade total e a macroporosidade foram positivas ($r > 0,8$) em todas as profundidades amostradas.

Tabela 3. Porosidade de Latossolos de diferentes texturas do Estado de São Paulo (CAVICHIOLO et al., 2004).

Textura do solo	Profund. (cm)	Porosidade (cm ³ poros/cm ³ solo)				Porosidade Relativa (%)		
		Total	Macro	Micro	Aeração	Macro	Micro	Aeração
Argilosa	0 - 10	0,67	0,20	0,47	0,23	29,4	70,6	34,0
	10 - 20	0,63	0,14	0,50	0,18	22,1	77,9	28,9
	20 - 30	0,66	0,19	0,47	0,23	28,4	71,5	35,2
Média	0 - 10	0,54	0,26	0,29	0,30	47,1	52,9	54,8
	10 - 20	0,44	0,15	0,29	0,18	33,8	66,2	41,6
	20 - 30	0,48	0,27	0,27	0,27	43,6	56,4	55,4

A quantidade de água armazenada no solo e a sua disponibilidade para as plantas constituem outra forma de se avaliar a qualidade e são fatores dependentes da sua estrutura. A curva que relaciona o potencial mátrico da água do solo com a umidade volumétrica é denominada de curva de retenção de umidade (CHILDS; COLLIS-GEORGE, 1950). Esta curva possibilita calcular a quantidade de água disponível ou em excesso na zona das raízes e estimar a influência da estrutura do solo sobre essas variáveis. Em baixas tensões hídricas, os fenômenos atuantes são a capilaridade e a tensão superficial da água retida nos poros maiores. Em altas tensões hídricas, atuam os fenômenos de adsorção entre as partículas do solo e da água; nessas condições, há maior retenção de água onde houver maior superfície específica das partículas do solo. Alguns

pontos da curva de retenção recebem denominações características: “capacidade de campo” é o limite superior de água disponível no solo e o “ponto de murcha permanente” é o limite inferior. Para a maioria dos solos bem estruturados, a capacidade de campo pode ser definida como a água retida a 10 kPa, quando estes apresentam porosidade de aeração maior que o mínimo necessário à respiração das raízes. O ponto de murcha permanente é o volume de água retido a 1.500 kPa. Porém, não significa que, nesta tensão, a planta não esteja em estresse hídrico. O volume de água retido entre estes dois limites é referido como “água disponível”. Esta é outra característica que se pode inferir a partir da curva de retenção de umidade no solo. Estas características variam sempre que a estrutura do solo for alterada.

A umidade do solo é condição essencial para o crescimento das plantas. Ela assegura o fornecimento de água e, também, a mobilização e a absorção dos nutrientes, além de regular a atividade da fauna do solo. Solos arenosos têm grande macroporosidade e retêm maior quantidade de água, facilmente disponível para as plantas. Porém, essa água é rapidamente perdida, tanto pela drenagem profunda quanto pela evaporação. Os solos argilosos apresentam maior microporosidade e podem reter maior teor de umidade, mas, nem todo o volume de água retido está disponível para as plantas.

A maior disponibilidade de água no solo favorece o incremento volumétrico de madeira em *Pinus radiata* (SNOWDON; BENSON, 1992) e *P. taeda* (DEDECEK et al., 2006; RIGATTO et al., 2004; BELLOTE, 2006; CORREIA et al., 1996). Em solos com alto teor de silte, o aumento na microporosidade aumenta a força de retenção de água por capilaridade. No entanto, essa força é menor que a observada em solos argilosos (HILLEL, 1980).

O Cambissolo textura média fase floresta (Tabela 2), que propiciou a produção de toras de grande diâmetro, apresentou altos teores das frações silte e areia fina (DEDECEK et al., 2006). A predominância dessas frações confere a este solo maior disponibilidade de água (HILLEL, 1980). Assim, este Cambissolo foi considerado melhor que os solos argilosos na classificação dos sítios por volume de madeira de grandes diâmetros. Em regiões onde não ocorre déficit hídrico devido às chuvas bem distribuídas durante o ano, a capacidade de retenção de água no solo torna-se de menor importância. Na região de Rio Negrinho (Santa Catarina), as correlações

entre a umidade atual e a capacidade de campo com as variáveis de crescimento de *P. taeda*, aos 12 anos de idade, foram negativas. Os maiores diâmetros dos fustes de *Pinus taeda* foram verificados em solos arenosos, que têm melhor drenagem e menor capacidade de retenção de umidade (BOGNOLA, 2007).

O volume de água retido nos macroporos é mais sujeito a alterações pela degradação da estrutura do solo (HUANG et al., 1996), enquanto que os microporos são pouco afetados. Assim, a redução do teor de umidade do solo na sua capacidade de campo constitui um indicativo da degradação estrutural do solo.

Em solo mineral típico, o teor de matéria orgânica é reduzido a apenas 3 % a 5 % do seu peso. Apesar do baixo percentual em peso, sua influência nos atributos do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas, é muito grande. A matéria orgânica no solo é uma das principais fontes de fósforo, enxofre e, essencialmente, a única fonte de nitrogênio. Na maioria dos solos tropicais, a matéria orgânica contribui com a maior parcela da capacidade de troca de cátions.

A matéria orgânica é responsável por várias características do solo, principalmente da sua estrutura. Ela forma e estabiliza os agregados do solo e contribui para o incremento da porosidade total, da macroporosidade e da porosidade de aeração, proporcionando condições favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Dada a sua capacidade de absorver água até 10 vezes o seu tamanho, a matéria orgânica contribui para o incremento da capacidade de retenção de água no solo. Nas regiões de clima seco, ela é vital para a manutenção da umidade no solo (WORREL; HAMPSON, 1987).

Nos solos florestais, a matéria orgânica atua como importante controladora da ciclagem de nutrientes. Ela serve como substrato para a microfauna e influencia a umidade, a estrutura, a resistência e os processos pedogenéticos. A perda da matéria orgânica em solos florestais gera menos problemas do que nos solos explorados com agricultura. No entanto, ela é um importante indicador da sustentabilidade das práticas florestais. Pelo monitoramento das alterações do seu teor, é possível avaliar a tendência de melhoria ou de degradação dos atributos do solo (NAMBIAR, 1996).

6. Manejo do Solo

Entre os fatores naturais que afetam a produtividade das plantas, o solo é o mais facilmente modificável através do manejo (POWERS; MORRISON, 1996). O solo pode ser considerado um “barômetro” do potencial produtivo de uma área (POWERS et al., 1990), por duas razões: 1) é o recurso natural que controla a quantidade e a qualidade dos recursos renováveis como os plantios florestais; 2) é um recurso não renovável que é afetado diretamente pelas práticas de manejo florestal, particularmente aquelas que envolvem a colheita e o preparo para o plantio.

A colheita mecanizada de florestas, que envolve tráfego intenso e pesado de máquinas, tem sido a principal causa da compactação dos solos (Figura 1). O mais significativo impacto nas propriedades físicas do solo sob

florestas ocorre em associação com as operações de corte, baldeio e subsequente preparo para a exploração da rebrota ou plantio do ciclo seguinte. Essas atividades alteram a estrutura e as propriedades hídricas do solo, dificultando o crescimento e a distribuição das raízes no solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das árvores dos plantios florestais. Portanto, o desenvolvimento de práticas de manejo florestal que assegurem a sustentabilidade dos sítios é de alta prioridade. A busca pela alta produtividade das terras destinadas à produção florestal tem crescido constantemente. Isso tem levado ao uso de maquinaria pesada e à retirada de toda a árvore na colheita. Os problemas com a manutenção da qualidade do solo e da produtividade ocorrem quando as atividades são imprópriamente executadas. Os principais entraves para a sustentabilidade dos sítios florestais são a compactação do solo e a erosão hídrica que trazem, como conseqüência, a degradação das características físicas, biológicas e químicas do solo. As propriedades do solo, consideradas como responsáveis primárias pelo controle da produtividade florestal, são a porosidade e o teor de matéria orgânica (PONDER; MIKKELSON, 1995). Estas são, também, as propriedades que sofrem os maiores impactos pelas atividades de manejo florestal, em decorrência do tráfego de máquinas pesadas, que reduzem a porosidade natural do solo, e da retirada completa das árvores, que aumenta a degradação da matéria orgânica do solo.



Figura 1. Colheita mecanizada de árvores como causa da compactação do solo.
Foto: Jarbas Y. Shimizu.

O arraste das árvores usando-se o “skidder” é a operação mais prejudicial, que afeta 25 % da superfície do solo (LACEY, 1993). A passagem da cortadeira e do autocarregável promovem aumento da densidade nas camadas até 5 cm de profundidade do solo, chegando a $0,80 \text{ Mg.m}^{-3}$ na linha de tráfego e $0,77 \text{ Mg.m}^{-3}$ nas áreas de corte, em locais onde a densidade é de $0,42 \text{ Mg.m}^{-3}$ nas áreas sem tráfego (SHETRON

et al., 1988) (Figura 2). Segundo Incerti et al. (1987), a colheita e o transporte de madeira reduzem a proporção de macroporos ($> 0,05 \text{ mm}$) de 28,6 %, em área sem tráfego, para 19,8 % na área de corte, 8,2 % na linha de derrubada das árvores e para 9,7 % na linha de passada das máquinas. As duas áreas com menos de 10 % de macroporosidade abrangem aproximadamente 10 % da área de colheita.



Figura 2. Tráfego intenso de autocarregável como causa da compactação do solo.
Foto: Jarbas Y. Shimizu.

A densidade global dos solos argilosos tende a ser menor do que dos solos de textura arenosa. No entanto, em área de corte raso, em rebrota de *Eucalyptus saligna*, apesar da amplitude de variação observada na compactação entre os solos arenosos e argilosos ter sido pequena (Tabela 4), houve redução no volume de madeira de eucalipto produzido para celulose, de aproximadamente 60 % em solo arenoso e de 40 % em solo argiloso (DEDECEK; GAVA, 2005). A compactação do solo causada pelo trânsito de equipamentos, na colheita da floresta nesse sítio, se aprofundou até 30 cm em solo arenoso e até 20 cm em solo argiloso. Em área de Latossolo Vermelho textura argilosa, foram observadas compactações de 0,97 Mg.m⁻³ a 1,09 Mg.m⁻³, nas profundidades

entre 15 cm e 30 cm, devido ao tráfego de máquinas usadas na colheita florestal (FERNANDES; VITÓRIA, 1998).

Na operação de colheita de *E. saligna* (Tabela 4), não se observou variação significativa na densidade do solo entre as três classes de linhas de operação na colheita (tráfego, corte e área de acúmulo de galhada), na profundidade até 10 cm, apesar de ser a camada exposta diretamente ao contato com as máquinas. Três hipóteses podem ser levantadas sobre essa ocorrência: 1) o processo de secagem/umedecimento do solo auxilia na recuperação da sua estrutura, mais rapidamente quanto mais freqüentes forem estas alternâncias; 2) o teor de matéria orgânica sempre é maior na superfície do solo e, durante os sete anos de cultivo do eucalipto,

muito material orgânico foi adicionado ao solo; e 3) a obtenção de amostras indeformadas, representativas da superfície do solo, é sempre mais difícil, principalmente quando se trata de solo arenoso. Por outro lado, nas camadas

subsuperficiais, as alternâncias no teor de umidade do solo são menos freqüentes e menos intensas, como também, é menor o teor de matéria orgânica que permita uma recuperação da estrutura do solo.

Tabela 4. Densidade do solo ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$) ao longo das linhas de operação de colheita de eucalipto (DEDECEK; GAVA, 2005).

Linhas de operação	Profundidade (cm)		
	até 10	10 – 20	20 – 30
Solo arenoso			
Tráfego	1,346 a ^{1/}	1,601 a	1,666 a
Corte	1,385 a	1,584 ab	1,598 ab
Galhada	1,352 a	1,495 b	1,553 b
Solo argiloso			
Tráfego	1,125 a	1,280 a	1,215 a
Corte	1,104 a	1,106 b	1,019 b
Galhada	1,068 a	1,095 b	1,110 b

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, com 95 % de probabilidade.

Qualquer solo sofre mudanças com a passagem de veículos, se a carga exceder 50 kPa que, de maneira geral, é o máximo que um solo suporta sem ter sua estrutura

deformada (MATTHIES et al., 1995). Alguns equipamentos usados na colheita exercem pressão maior que a capacidade de suporte do solo (Tabela 5).

Tabela 5. Cargas exercidas sobre o solo pelos equipamentos de colheita de madeira.

Equipamento	Carga (kPa)
Trator "Timberjack" com garra de 100 pol., sem carga	48 a 56
Trator "Timberjack" com garra de 100 pol., com carga	67 a 73
Cortadeira florestal "Hydro AX" – com disco de 22 pol.	69

A velocidade de tráfego do equipamento também é importante quanto aos efeitos que exerce sobre as características físicas do solo. Mesmo parado, ele causa compactação, mas, se estiver patinando, a compactação causada é ainda maior. Normalmente, a primeira passagem do equipamento é a que causa a maior parte da compactação. A presença de resíduos da colheita de madeira serve de atenuante da compactação do solo, mesmo quando a quantidade deste material é pequena (SEIXAS et al., 1998).

De maneira geral, existem atributos únicos em solos florestais e nas operações florestais que limitam a possibilidade de aplicação dos resultados observados, em experimentos com culturas agrícolas. Dados coletados ao longo do tempo sugerem um declínio na produtividade de florestas plantadas em segunda rotação, que não são explicadas pelos fatores químicos do solo (LACEY et al., 1994).

Os fatores físicos do solo que afetam diretamente o crescimento das plantas são os que controlam o suprimento de água e do oxigênio, bem como a temperatura e a resistência mecânica. Água é o fator dominante que controla os demais (LETEY, 1985). A variável mais simples e prática de

inferir sobre as propriedades físicas do solo, associadas à produtividade, é a resistência do solo. O crescimento das raízes diminui, progressivamente, com o aumento da resistência mecânica à penetração de raízes e cessa a uma faixa entre 1 MPa e 4 MPa (BENOUGH; MULLINS, 1990).

O teor de umidade do solo é a propriedade que tem a maior influência no grau de compactação produzido por uma força externa. Sob a mesma pressão, a densidade resultante aumenta com o teor de umidade no solo. Mudanças na densidade do solo, devido à pressão, chegam a um máximo quando o teor de umidade está próximo à capacidade de campo, conhecido como teor de umidade ótimo para compactação máxima. Quanto maior for a pressão externa exercida sobre o solo, menor o teor de umidade em que ocorre a densidade máxima (FREE et al., 1947).

O comportamento de um solo em relação à sua compactabilidade depende, principalmente, da sua textura e do teor de água em que se encontra, quando submetido a uma pressão externa. O limite plástico, estabelecido por Atterberg (1911), é o teor de água no qual um solo passa do estado friável para o plástico. Acima deste limite, o

solo torna-se cada vez mais suscetível à compactação; abaixo desse valor, aumenta a resistência do solo à compactação e corresponde à faixa de umidade ótima para o desempenho dos equipamentos no preparo do solo (LACEY et al., 1994).

Solos em que o teor de umidade no limite líquido é igual ou maior do que o teor de umidade ótimo compactam mais facilmente do que aqueles em que este teor é menor do que o da umidade ótima (HOWARD et al., 1981). O mesmo ocorre quando se compara o teor de umidade do solo na capacidade de campo e o teor de umidade ótima para compactação. Com isto, é possível reduzir o risco de compactação, evitando-se a passagem das máquinas de colheita e de preparo do solo em locais mais susceptíveis, principalmente nas épocas de maior incidência de chuvas.

O planejamento eficiente das operações de colheita de madeira e de preparo do solo, visando minimizar a compactação, depende do conhecimento da distribuição dos solos na área a ser manejada, bem como do comportamento de cada tipo de solo em resposta às forças compactadoras. Para se manter a produtividade, uma vez que o solo esteja compactado, são necessárias medidas para descompactá-lo e trazê-lo às suas condições de estrutura anteriores (Figura 3). Isto envolve altos custos, que são tanto maiores quanto maior for a intensidade de preparo requerida. O conhecimento das características físico-hídricas do solo, também, permite estabelecer a faixa de umidade em que o solo estará menos sujeito à compactação. Estes valores podem ser usados para estabelecer uma listagem dos

solos de uma propriedade, por ordem de suscetibilidade à compactação. Milde (2004) agrupou os solos de duas propriedades, nos municípios de Itatinga e São Miguel Arcanjo (SP), em unidades de colheita, à semelhança das unidades de manejo, considerando o número de dias de repouso necessário para que o teor de umidade de um solo fique abaixo da umidade ótima de compactação. Estas unidades agrupam solos que necessitam do mesmo número de dias após a chuva (até 10 dias) para poderem ser explorados, visando diminuir o impacto das operações de colheita e, em conseqüência, evitar o preparo do solo para reduzir a compactação.



Figura 3. Sulcador monohaste usado para revolvimento da entrelinha. Foto: Sandra Cavichiollo.

O número de dias necessário para qualquer solo estar apto a receber os equipamentos de colheita foi estabelecido com base na determinação da umidade ótima para compactação, na capacidade de campo e no

consumo médio de água de uma floresta em fase de corte raso. Como estas características físicas do solo demandam tempo e equipamentos específicos para as suas determinações, foram desenvolvidas equações para a sua estimativa com base no diâmetro médio ponderado das partículas do solo (DMPP). O DMPP, para cada solo, é determinado com a equação:

$$\text{DMPP} = ((a * 0,15) + (b * 1,125) + (c * 0,026) + (d * 0,002)), \text{ onde:}$$

a = teor de areia fina em g.kg⁻¹;

b = teor de areia grossa em g.kg⁻¹;

c = teor de silte em g.kg⁻¹;

d = teor de argila em g.kg⁻¹.

Dados sobre a distribuição do tamanho de partículas constam, normalmente, de todos os levantamentos de solos. As equações usadas para estimar os teores de umidade do solo na capacidade ótima para compactação e na capacidade de campo (10 kPa), com base no DMPP, são:

a) Teor de umidade na capacidade ótima para compactação = $-0,168\text{DMPP} + 0,290$;

b) Teor de umidade na capacidade de campo = $-0,541\text{DMPP} + 0,579$.

A partir dos valores da capacidade de campo e da umidade ótima, pode-se estimar a quantidade de água acima da umidade ótima de compactação dos solos (QDA), com a equação:

$$\text{QDA} = \text{capacidade de campo} - \text{umidade ótima}$$

Tendo-se os valores da umidade ótima para compactação (U ótima) e da capacidade de campo (CC), pode-se determinar a quantidade

de água acima da umidade ótima de compactação dos solos a uma determinada profundidade (Q). Neste exemplo, a profundidade é 30 cm³, de maneira que se tem um bloco de 1 cm de largura e comprimento por 30 cm de profundidade. Assim, a quantidade de água do solo foi estimada através da equação:

$$Q = \text{QDA} \times 30, \text{ onde:}$$

Q = quantidade estimada de água do solo até a profundidade de 30 cm;

QDA = quantidade de água presente no solo em 1 cm de solo.

Assim, para evitar que, pelo tráfego de máquinas, os solos cheguem à condição de compactação máxima, estima-se o número de dias que eles necessitam ficar em “repouso” (DR) para atingir níveis abaixo do teor de umidade ótima para a compactação (U ótima). Isso é feito dividindo-se os valores da quantidade estimada de água acima da umidade ótima de compactação dos solos (Q) pela evapotranspiração diária de uma floresta, por exemplo, de eucalipto (ED), com a equação:

$$\text{DR} = Q / \text{ED}, \text{ onde:}$$

DR = número de dias que um solo necessita ficar de “repouso”;

Q = quantidade estimada de água acima da umidade ótima de compactação dos solos;

ED = evapotranspiração diária de uma floresta de eucalipto;

Com essa equação, foi elaborada uma tabela de classificação dos solos pelo tempo de repouso necessário para que estes possam suportar o tráfego de equipamentos para o plantio e colheita de madeira, sem ocasionar compactação (Tabela 6).

Tabela 6. Tempo de repouso estimado para os solos após saturação pela chuva ou irrigação.

Tipo de solo*	Tempo de repouso (dias)	Argila (g.kg⁻¹)
Neossolo Quartzarênico Órtico	0	40
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0	80
Neossolo Quartzarênico Órtico	0	40
Latossolo Vermelho Eutrófico	0	88
Latossolo Vermelho Distrófico	0	250
Argissolo Vermelho Amarelo	0	250
Argissolo Vermelho Amarelo	1	288
Latossolo Vermelho Amarelo	3	300
Latossolo Vermelho Escuro	3	330
Argissolo Vermelho Amarelo	4	350
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 17	4	
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 18	4	
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 24	4	
ARGISSOLO VERMELHO ESCURO-PED 27	4	
Latossolo Vermelho	5	400
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 19	5	
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 21	5	
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO-PVD 9	5	
ARGISSOLO VERMELHO ESCURO-PED 28	5	
Latossolo Vermelho Escuro	6	470
Latossolo Vermelho Escuro	7	590
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO-LVD 19	7	
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO-LVD 23	8	
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO-LVD 25	8	
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO-LVD 14	9	
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO-LVD 18	9	
LATOSSOLO VERMELHO - LE 24	9	
CAMBISSOLO TB, DISTRÓFICO-C14	10	
<u>CAMBISSOLO TB, DISTRÓFICO-C9</u>	<u>10</u>	

* Para os solos indicados com letras maiúsculas, os dados de capacidade de campo e da umidade ótima para a compactação foram estimados; para os demais solos, os dados foram determinados em laboratório.

Com base nas informações contidas na Tabela 3, foram elaborados mapas de solos para as propriedades estudadas, com indicação do grau de suscetibilidade dos solos à compactação. Como ilustração, foi elaborado um mapa da Fazenda Santa Rosa, Município

de São Miguel Arcanjo, SP, agrupando-se os solos em unidades de colheita, com base no tempo de repouso necessário após a saturação, para atingir o teor de umidade adequado que permita o trânsito de máquinas com o mínimo de compactação (Figura 4).

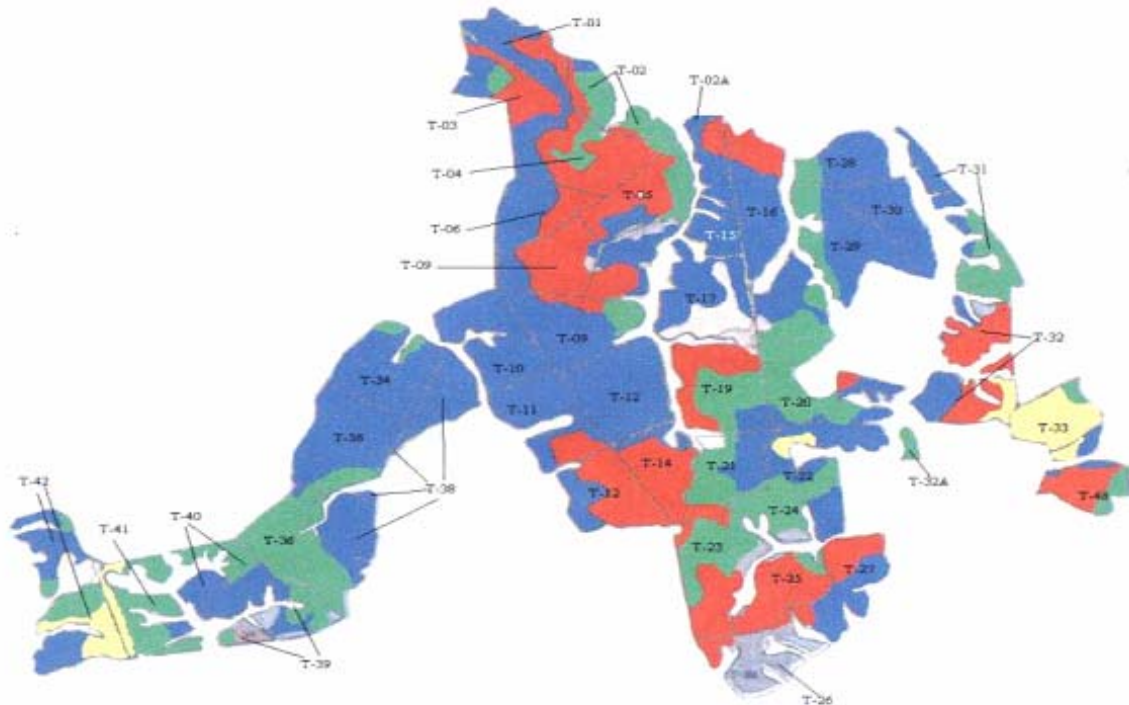


Figura 4. Unidades de colheita florestal na Fazenda Santa Rosa, São Miguel Arcanjo, SP.

A capacidade de armazenamento de água no solo e a disponibilidade desta para o crescimento das plantas são fortemente influenciadas pelo teor de matéria orgânica (BRADY, 1996). A matéria orgânica é a principal responsável pelo aspecto friável do solo e um importante indicador das alterações dos atributos e da sustentabilidade das práticas de manejo dos solos florestais (NAMBIAR; BROWN, 1997).

Em todas as etapas do processo de obtenção da celulose, são gerados resíduos sólidos. O potencial de utilização desses resíduos na produção florestal tem sido verificado em estudos de sua incorporação ao solo. O uso de resíduos celulósicos, em solos extremamente pobres, tem propiciado ganhos na produção de madeira maiores que 150 % (BERGAMIN et al., 1994). Bellote et al. (1998) relataram até 14 % de aumento na

retenção de água no solo, na capacidade de campo, com a aplicação de até 50 t.ha⁻¹ de resíduo, em relação ao mesmo solo sem adição de resíduo celulósico.

Aumentos significativos no crescimento em diâmetro e altura de *Pinus taeda*, com aplicação de resíduo celulósico na dosagem de 80 t.ha⁻¹ têm sido relatados (DEDECEK et al., 2002). A menor dose de resíduo (apenas 20 t.ha⁻¹) aplicada foi suficiente para, praticamente, dobrar a produção de madeira. No entanto, a aplicação de 100 t.ha⁻¹ resultou

em redução no crescimento, tanto em altura quanto em diâmetro do tronco (Figura 5).

A adição de resíduos celulósicos ao solo não promoveu alterações físicas tão acentuadas quanto as verificadas no crescimento de *P. taeda*. Alterações físicas foram verificadas somente nos primeiros 10 cm superficiais do solo e apenas onde foram aplicadas as maiores dosagens. A aplicação de até 40 t.ha⁻¹ de resíduos celulósicos não teve efeito na densidade global do solo (Figura 6).

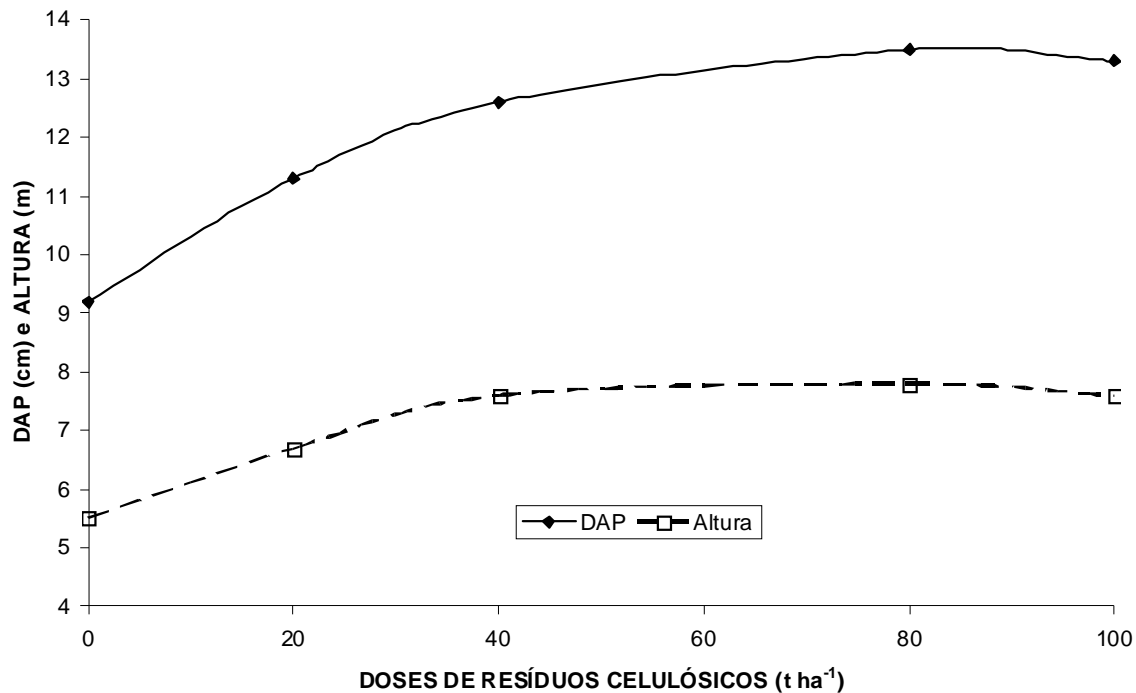


Figura 5. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de doses crescentes de resíduos celulósicos, aos seis anos após o plantio, em Arapoti, PR, 2002.

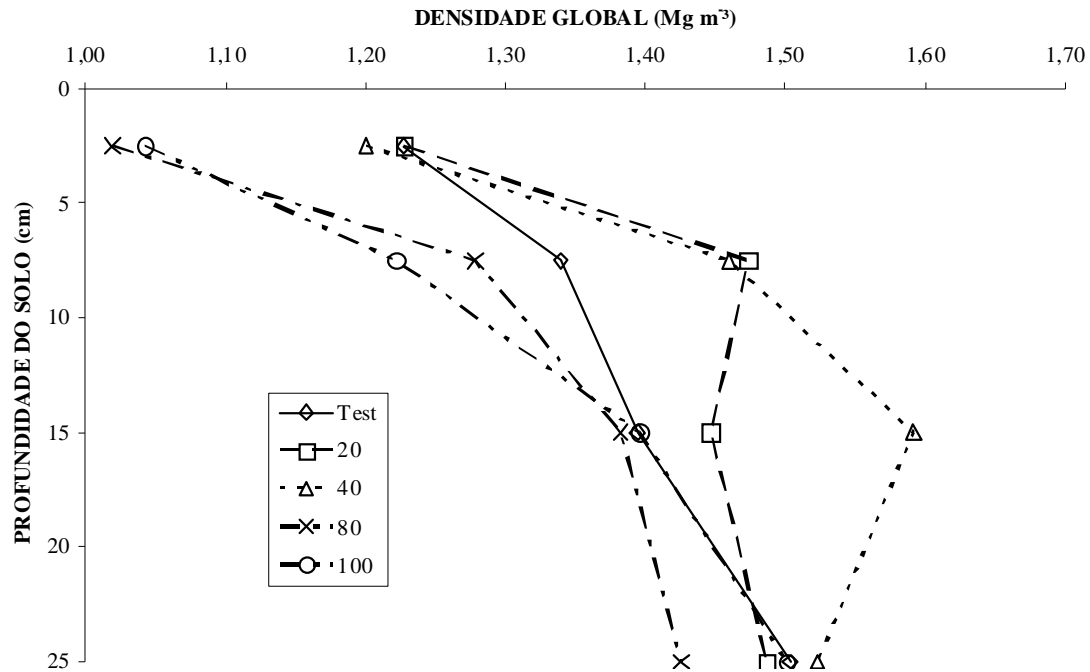


Figura 6. Densidade global do solo após aplicação de resíduo celulósico em Arapoti, PR, 2002.

Estudos têm mostrado que o volume de água disponível no solo para as plantas (Figura 7) aumenta significativamente com a aplicação de 80 t.ha^{-1} ou mais de resíduo celulósico, considerando-se, como extremos, a capacidade de campo (10 kPa) e o ponto de murcha permanente (1.500 kPa). Essa diferença na quantidade de água disponível foi observada até a profundidade de 30 cm, o

que não foi observado na densidade global. Nas dosagens menores de resíduo celulósico, houve uma redução expressiva da quantidade de água disponível. Acredita-se que isso seja devido à compactação causada na operação de distribuição do resíduo, uma vez que a faixa de solo amostrada corresponde à da passagem das máquinas.

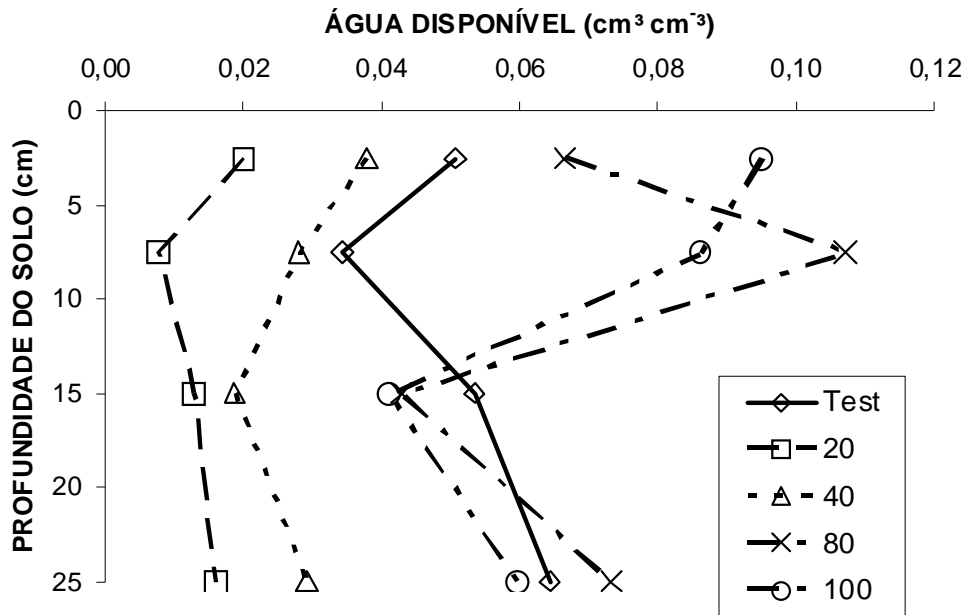


Figura 7. Água disponível (entre 10 e 1.500 kPa) em diferentes profundidades e doses de resíduo celulósico aplicadas, em Arapoti, PR, 2002.

7. Preparo de Área

O êxito no estabelecimento de florestas plantadas depende das operações efetuadas nas várias etapas, especialmente no preparo do solo para o plantio. Nessa etapa, as operações têm como objetivo tornar o ambiente favorável à sobrevivência e ao crescimento das mudas plantadas. Normalmente, isso inclui a recuperação da estrutura de solos compactados pelo tráfego de máquinas pesadas e uso freqüente de implementos agrícolas. Segundo Dougherty e Gresham (1988), o desenvolvimento radicular constitui o fator mais importante na sobrevivência e crescimento de *Pinus* no primeiro ano após o plantio. Até que o sistema radicular tenha chance de se desenvolver, as mudas não têm condições de suprir as suas necessidades, principalmente em solos de baixa fertilidade ou de pouca disponibilidade

de água para as plantas. Poucas raízes de *P. taeda* são encontradas em profundidades maiores que 60 cm, dois anos após o plantio. De forma geral, um dos fatores mais influentes no crescimento do pínus tem sido a profundidade efetiva do solo, que é a camada que pode ser explorada sem restrições pelas raízes.

Existem vários tipos de equipamentos e formas de preparo do solo. A combinação mais apropriada a ser adotada depende do tipo de solo, da espécie a ser plantada e da forma de ocupação anterior do solo. Em área de reforma, após colheita mecanizada de madeira de pínus, destinada ao plantio de *P. taeda*, em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, Dedeczek et al. (2000) compararam os efeitos dos seguintes procedimentos:

- (1) Subsolagem nas linhas e entrelinhas com trator de pneus;
- (2) Subsolagem nas linhas com trator de pneus;
- (3) Gradagem com grade pesada tracionada com trator D6 e uso da lâmina KG para rebaixamento de tocos;
- (4) Preparo do solo nas linhas com uso de "ripper" e trator D6, com realinhamento do plantio;
- (5) Preparo do solo nas linhas com uso de "ripper" e trator D6, sem realinhamento;
- (6) Idem ao sistema 4, com uso de trator de pneus;
- (7) Idem ao sistema 5, com uso de trator de pneus;
- (8) Coveamento nas linhas de plantio;
- (9) Idem ao sistema 4, com uso de lâmina KG para rebaixamento de tocos;
- (10) Idem ao sistema 6, com uso de lâmina KG para rebaixamento de tocos;
- (11) Plantio manual, sem preparo mecânico do solo nas linhas de plantio.

Os efeitos das várias opções de preparo do solo foram avaliados com base no desenvolvimento de *Pinus taeda* plantado nesse sítio, bem como através do monitoramento das propriedades físicas do solo (Tabela 7; Figuras 4, 7, 8 e 9).

Tabela 7. Crescimento de *Pinus taeda* associado ao grau de resistência do solo à penetração, ao longo da linha de plantio, resultante do tráfego de máquinas para colheita, transporte e preparo do solo.

Trat.	Altura das plantas (m) ^{a/}	Resistência do solo			
		Na linha de plantio		A 50 cm da linha	
		Trat.	25 cm (kg.cm ⁻²)*	Trat.	5 cm (kg cm ⁻²)*
(5)	6,3a	(5)	21a	(7)	8a
(4)	6,0ab	(4)	25ab	(5)	8a
(7)	5,9ab	(7)	27abc	(8)	8a
(6)	5,8ab	(9)	28abc	(9)	15ab
(8)	5,8ab	(6)	35abc	(4)	16ab
(10)	5,6ab	(10)	36abc	(3)	24ab
(9)	5,6ab	(3)	36abc	(6)	24ab
(3)	5,3bc	(1)	39abc	(10)	28ab
(1)	4,8cd	(8)	40abc	(11)	31ab
(2)	4,6cd	(2)	44bc	(2)	33b
(11)	4,5d	(11)	46c	(1)	37b

* Valores seguidos pelas mesmas letras, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey com 95 % de probabilidade.

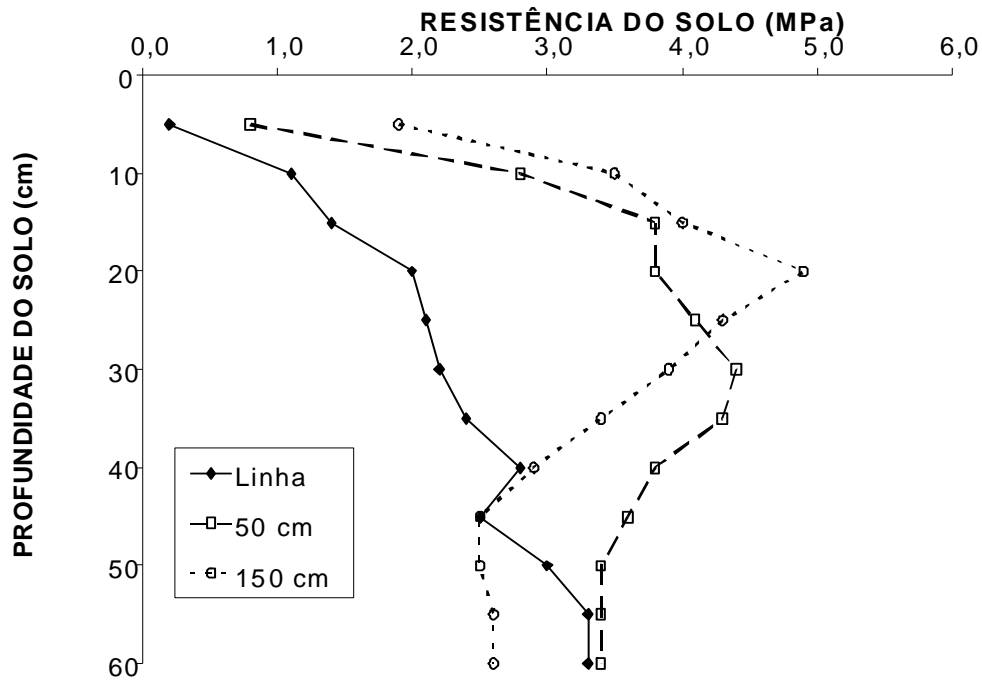


Figura 8. Resistência do solo a diferentes profundidades e distâncias da linha de plantio, causada pelo uso de "ripper" e trator D6 no preparo para o plantio de *Pinus taeda* em Arapoti, PR.

Quanto maior for o tráfego de máquinas (por exemplo, com o uso da lâmina KG para rebaixamento de tocos e no realinhamento), maior tenderá a ser o efeito na compactação

do solo e na altura de *P. taeda*. Além disso, o uso de trator de pneus é mais prejudicial do que trator de esteira (D6).

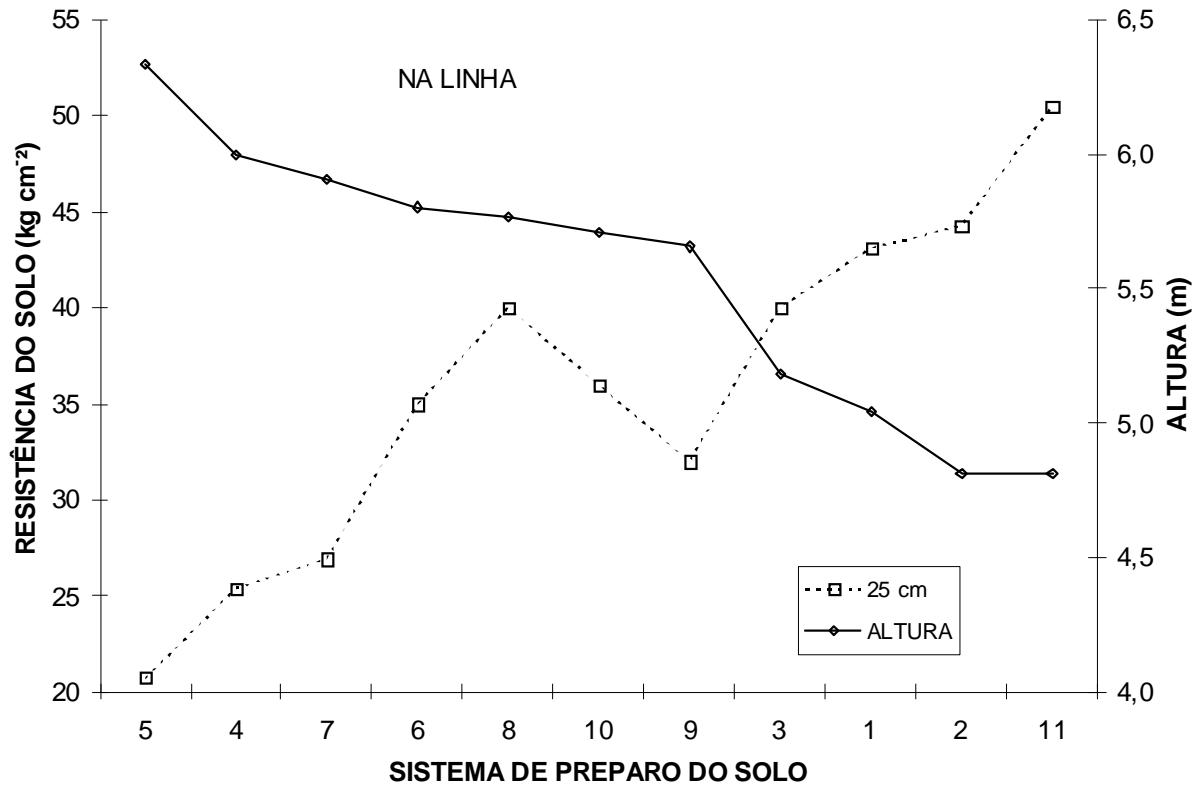


Figura 9. Altura média de *Pinus taeda*, aos 3 anos e meio de idade, plantado em solo com variados graus de compactação na linha de plantio, a 25 cm de profundidade, causados pela mecanização da colheita, transporte e preparo do solo, em Arapoti, PR.

A 50 cm de profundidade ao longo da linha de plantio, a ação dos implementos de preparo do solo não foi sentida. A profundidade onde ocorreram as maiores alterações, com reflexos no crescimento de *P. taeda*, foi a 5 cm (Figura 9).

A maior parte da variação em altura das plantas esteve associada aos diferentes sistemas de preparo e à alteração na resistência do solo, ao longo tanto da linha quanto das entrelinhas de plantio (Figuras 10 e 11). Os efeitos dos diferentes tipos de equipamento na compactação do solo podem ser assim resumidos (Figura 12): o trator de pneu compacta mais o solo do que o de esteira. Além disso, com o trator de pneu, o "ripper" não

chega a mais do que 20 cm de profundidade, enquanto que, com o de esteira, o "ripper" pode atingir até 45 cm de profundidade. Disso resulta que, usando-se o "ripper", atrelado ao trator de esteira, no preparo do solo, *P. taeda* pode crescer até 40 % mais em altura, aos três anos de idade, do que nos plantios sem preparo mecanizado do solo compactado pelas operações de colheita e transporte. O realinhamento, também, é uma operação que acarreta compactação adicional na linha de plantio. Além dessa operação, o rebaixamento de tocos com o uso da lâmina KG produz compactação ainda maior (Figura 13).

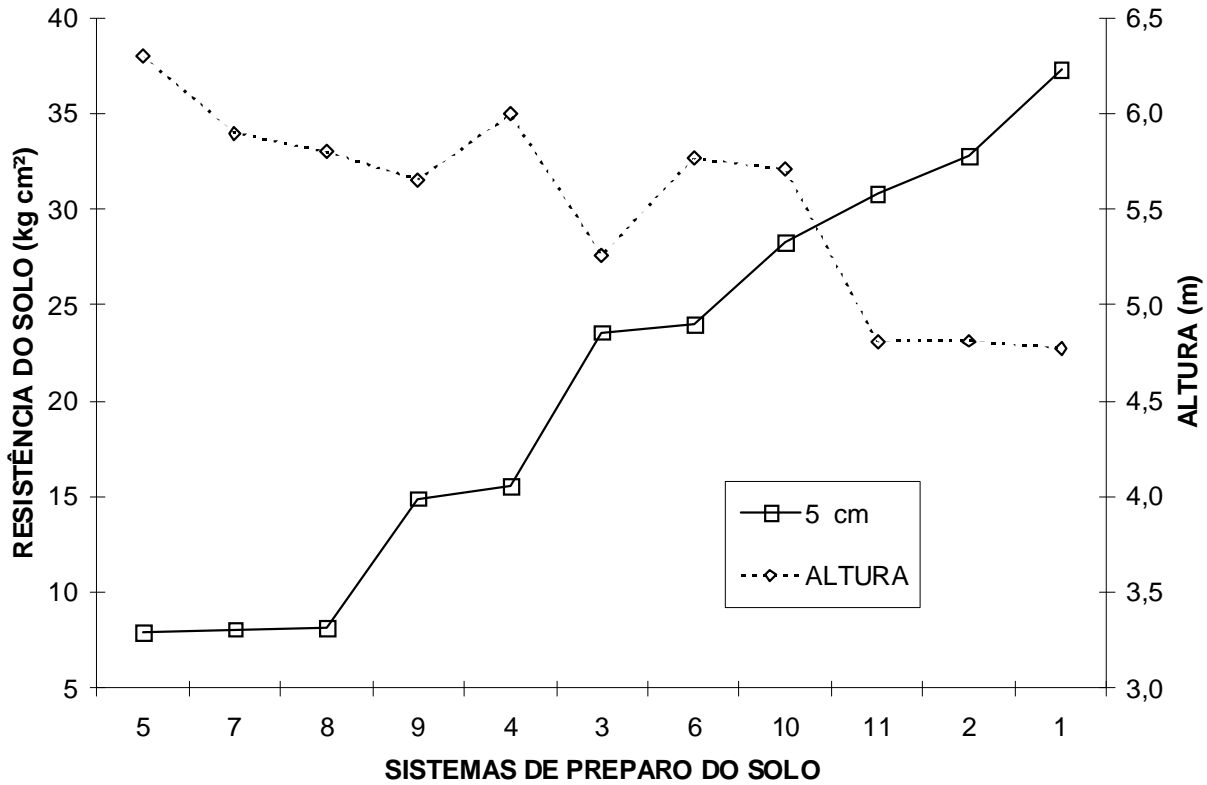


Figura 10. Altura média de *Pinus taeda*, aos 3 anos e meio de idade, plantado em solo com variados graus de compactação a 50 cm da linha de plantio, a 5 cm de profundidade, causados pela mecanização da colheita, transporte e preparo do solo em Arapoti, PR.

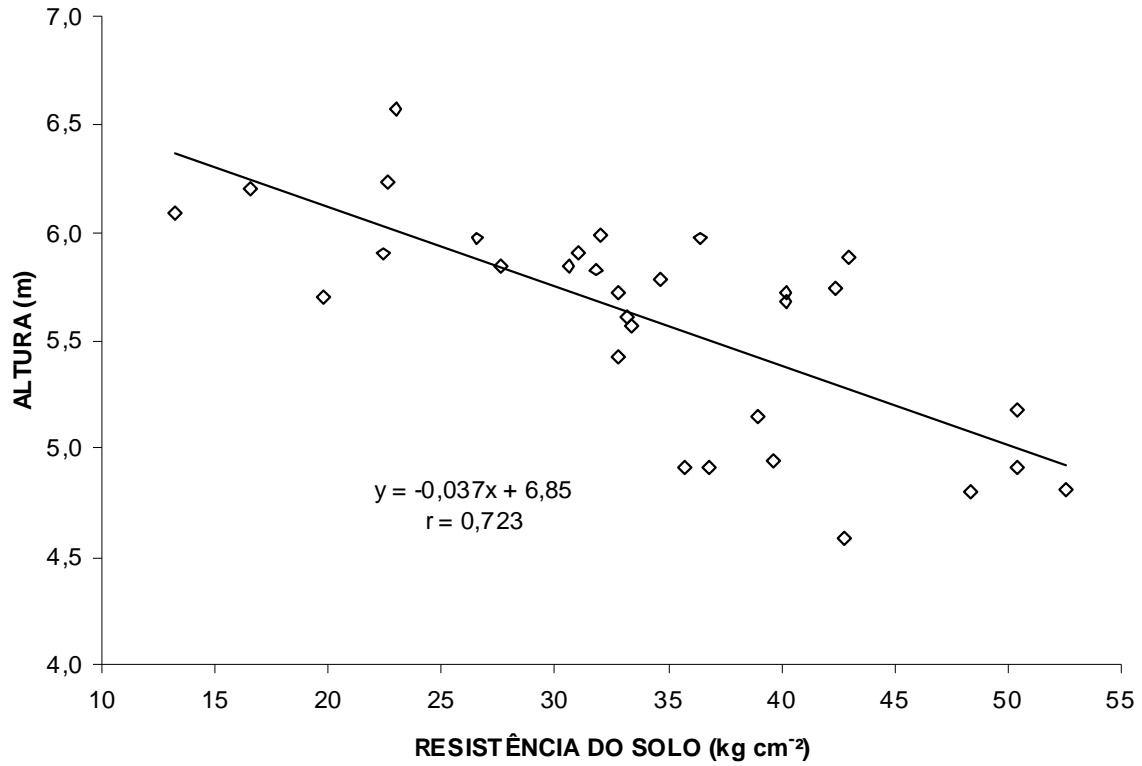


Figura 11. Relação entre altura de *Pinus taeda* e resistência do solo na linha de plantio, a 25 cm de profundidade, causada pela mecanização da colheita, transporte e preparo do solo.

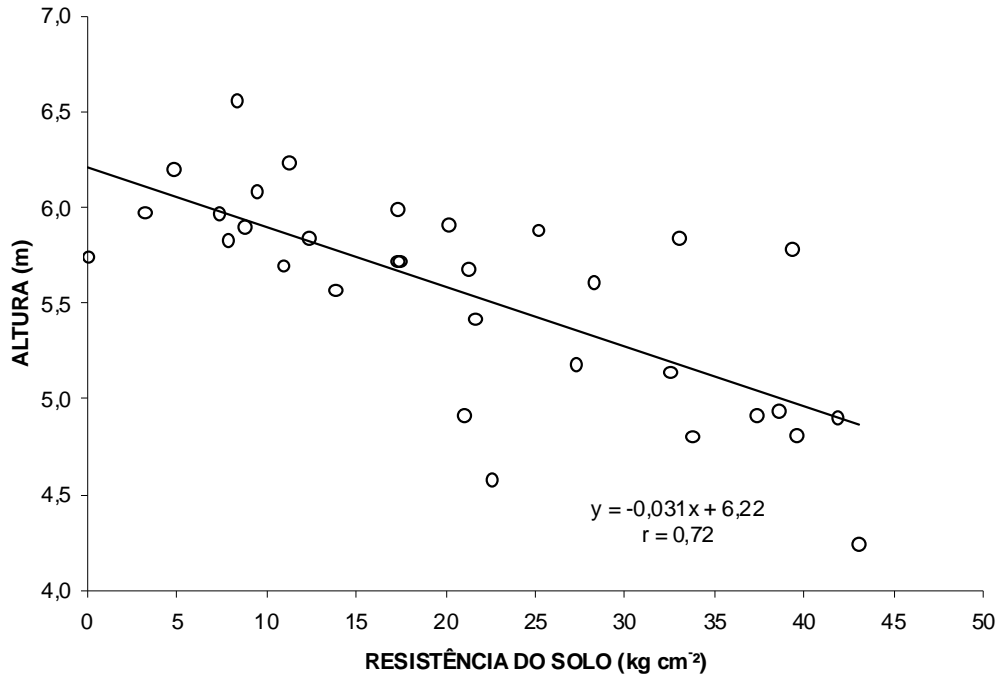


Figura 12. Relação entre altura de *Pinus taeda* e resistência do solo a 50 cm da linha de plantio, a 5 cm de profundidade, causada pela mecanização da colheita, transporte e preparo do solo.

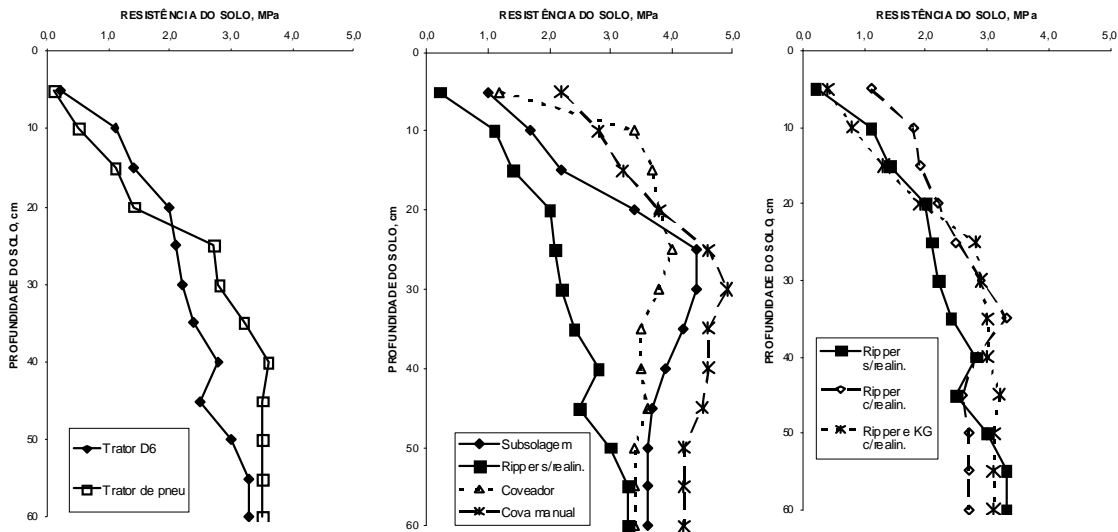


Figura 13. Resistência do solo na linha de plantio, em sistemas de preparo do solo com diferentes trações, equipamentos e ações de realinhamento e rebaixamento de tocos.

Em áreas utilizadas intensamente para cultivos agrícolas, a possibilidade de formação de uma camada compactada no solo (“pé-de-grade”) é muito grande. Portanto, pelo menos na linha de plantio, recomenda-se o uso de subsolador em profundidade suficiente para romper a camada compactada. Em áreas de pastagem, a profundidade do preparo do solo pode ser reduzida, uma vez que a compactação decorrente do pisoteio pelos animais é superficial. Nestes casos, o mais importante é o controle das gramíneas durante o primeiro ano de plantio. Em áreas de plantio de segundo ciclo de *Pinus taeda*, onde a colheita e a retirada da madeira tenham sido manuais, não há necessidade de preparo do solo.

Mesmo não sendo áreas anteriormente ocupadas com plantios florestais, o preparo do solo para esta finalidade precisa ser feito de acordo com o histórico do seu uso e com as suas características físicas. Por exemplo, em uma área dedicada ao cultivo agrícola por vários anos seguidos, o crescimento de *P. taeda*, com dois anos de idade, foi de apenas 46 % (DEDECEK, 2005) em relação às árvores plantadas em uma área previamente ocupada pela mata nativa. Na área de cultivo intensivo, a camada de solo até 25 cm de profundidade apresentava um sério problema de compactação, oferecendo resistência ao penetrógrafo equivalente a mais de 40 kg.cm⁻², quando os níveis considerados críticos para o desenvolvimento das raízes são a partir de 21 kg.cm⁻² (aproximadamente 3 MPa) (RAB, 1996).

Portanto, antes de efetuar o plantio de espécies florestais em áreas anteriormente ocupadas com cultivos agrícolas, recomenda-se que sejam avaliadas a intensidade e a profundidade da compactação do solo, para que se possa indicar o tipo de implemento a

ser usado no preparo para o plantio. Uma subsolagem até 60 cm de profundidade, normalmente reduz a compactação. Mas, se a compactação for menos intensa ou mais superficial do que isso, poderão ser usados implementos apropriados que propiciem menor custo no preparo do solo para o plantio florestal.

A fertilidade do solo pode ser outro problema para o plantio de pínus em áreas agrícolas. Por exemplo, altos teores de cálcio e magnésio, alta saturação por bases e baixos teores de potássio no solo (DEDECEK, 2005).

As orientações do preparo do solo e das linhas de plantio, também, são muito importantes para o sucesso do estabelecimento de novos plantios florestais. O seu efeito recai diretamente sobre a intensidade da erosão hídrica e pode comprometer a produtividade da floresta. A recomendação geral é que o preparo do solo e as linhas de plantio sejam feitos no sentido transversal ao declive (CAVICHIOLO, 2005). As perdas de solo pela erosão hídrica tendem a ser maiores quanto maior for a movimentação do solo no processo de preparo. Dedecek et al. (2006) constataram maior perda de solo, quanto maior foi o número de hastes usado no subsolador.

A erosão ocorre com mais facilidade em solos expostos como nas estradas, aceiros, áreas de corte raso e áreas em processo de preparo do solo para o plantio. As estradas florestais contribuem com uma grande quantidade de sedimentos, mas são essenciais para as operações florestais. A produção de sedimentos em áreas de floresta, considerando o período desde o corte raso até o estabelecimento da nova cobertura

florestal, passando pelo preparo do solo para o plantio, ainda é muito menor do que nas estradas ou nas áreas dedicadas à agricultura anual. Mesmo assim, algumas medidas de contenção da erosão devem ser tomadas para evitar a perda de produtividade florestal. Entre elas, incluem-se o terraceamento, a proteção dos mananciais e cursos de água, a concentração da colheita em época com menor incidência de chuvas, a execução das operações de retirada da madeira e de preparo do solo e plantio em nível, assim como, evitar o excesso de capinas no controle das plantas invasoras.

O ambiente físico do solo é um dos aspectos mais importantes para a produtividade do sítio. Ele tem influência direta sobre os atributos do solo, notadamente nos fluxos de água, ar e calor, na resistência ao crescimento das raízes e na disponibilidade de nutrientes. Quando a estrutura do solo é alterada, pode haver redução na capacidade de crescimento do sistema radicular. Assim, reduz-se o volume de solo explorado pelas raízes, ao mesmo tempo em que ocorre redução no fluxo de ar e da solução do solo.

Os nutrientes chegam à superfície das raízes pelos processos de interceptação, fluxo de massa e difusão. A contribuição da interceptação é pequena, uma vez que as raízes ocupam apenas 1 % do volume do solo. Restam, portanto, os mecanismos de difusão e de fluxo de massa como os mais importantes e dependentes da movimentação da água do solo causada pela demanda da planta.

Em solos com macroporosidade excessiva (solos arenosos) é difícil se estabelecer um fluxo contínuo de água que possibilite a movimentação dos nutrientes no solo. Por

outro lado, em solos com dominância de microporosidade (solos argilosos) há mais poros cheios de água, facilitando os fluxos de massa e a difusão dos nutrientes. Porém, nestes, há maior dificuldade de circulação do ar e, com oxigenação deficiente, as atividades radiculares ficam prejudicadas. As movimentações da água e do ar tornam-se mais difíceis à medida que a porosidade do solo é reduzida ao extremo, como ocorre quando há compactação pelo tráfego de máquinas pesadas.

A expansão das raízes em profundidade pode ser limitada pela presença de rocha, excesso de água (lençol freático próximo à superfície), ou existência de camadas de solo adensadas ou compactadas. Em condições de pouca profundidade efetiva do solo, o crescimento de *P. taeda* pode ser reduzido devido à necessidade de suas raízes explorarem um volume maior de solo para obter a água e os nutrientes requeridos. Porém, se o solo for fértil e sem deficiência pronunciada de umidade, mesmo que haja alguns desses fatores limitantes, o prejuízo no desenvolvimento das plantas é menor.

A textura do solo é uma das características mais estáveis e de grande importância na produção agrícola e florestal. Solos arenosos são mais susceptíveis à perda de matéria orgânica e de nutrientes, mas menos propensos à redução na produtividade, devido à compactação. Por outro lado, solos de textura argilosa são mais propensos a perder produtividade se compactados.

O arranjo e a organização das partículas e dos poros no solo (estrutura do solo) são tão variáveis quanto permitem as combinações das diferentes formas, tamanhos e orientação

das partículas do solo. A estrutura do solo determina as suas propriedades mecânicas e sua influência nas plantas pode ser avaliada em fenômenos como germinação e crescimento das raízes. As formas de preparo do solo, bem como as condições de tráfego de máquinas e a suscetibilidade à erosão hídrica dependem da sua estrutura.

Os vários métodos propostos para caracterizar a estrutura do solo são indiretos e baseados na medição de algum atributo que, supostamente, depende da estrutura do solo. Entre estes, incluem-se a densidade do solo, as porosidades (total, macro e micro), a umidade na capacidade de campo, a água disponível e a resistência à penetração.

As propriedades do solo consideradas como as principais responsáveis pelo controle da produtividade florestal são a porosidade e o teor de matéria orgânica. Estas são, também, as propriedades que sofrem os maiores impactos causados pelas operações de manejo florestal, como o tráfego de máquinas pesadas e a retirada completa das árvores na exploração, que aumentam a degradação da matéria orgânica do solo.

O planejamento eficiente das operações visando minimizar a compactação do solo depende do conhecimento da distribuição dos solos na área a ser manejada, associado ao conhecimento do comportamento de cada solo, em resposta às forças compactadoras. Uma vez que o solo esteja compactado, medidas para a sua descompactação e reversão às suas condições estruturais anteriores envolvem custos na medida da intensidade das operações demandadas.

O preparo do solo para plantios florestais, normalmente, envolve algum tipo de

movimentação do solo, tais como a subsolagem ao longo das linhas de plantio. Esta operação não deve ser realizada em solo muito úmido, nem com uso de hastes demasiadamente estreitas. Na escolha do sistema de preparo do solo a ser adotado, deve-se considerar o manejo da matéria orgânica e o implemento a ser usado, que deve ser adequado para cada situação. Em áreas previamente usadas para agricultura intensiva, normalmente, forma-se uma camada compactada no solo. Nesses casos, recomenda-se o uso de subsolador em profundidade suficiente para romper essa camada compactada. Em áreas com pastagem, a profundidade da subsolagem pode ser reduzida, uma vez que a camada compactada pelo pisoteio dos animais é superficial. Nestes casos, o aspecto mais importante é o controle das gramíneas durante o primeiro ano do plantio florestal.

Para o plantio em área de reforma, onde a colheita e a retirada da madeira do ciclo anterior não tenham sido mecanizadas, não há necessidade de preparo do solo. Dificilmente, a colheita e o baldeio mecanizados deixam de causar compactação do solo, tanto mais profunda e severa quanto maior o seu teor de umidade no momento dessas operações. Nestes casos, recomenda-se o preparo nas linhas de plantio, usando-se um subsolador, ou a adoção da tecnologia de cultivo mínimo.

A erosão do solo é um tema de mais alta relevância que precisa ser tratado no preparo do sítio para o plantio florestal. Uma das causas da intensificação da erosão hídrica é a compactação do solo, visto que esta propicia o aumento no volume da enxurrada. Nas operações florestais, a maior suscetibilidade

do solo à erosão hídrica se verifica nas estradas e aceiros, como também nos talhões logo após o corte raso e preparo do solo, até o estabelecimento do dossel de um povoamento que seja capaz de proteger o solo da incidência direta da chuva.

8. Referências

- ATTERBERG, A. Lerornas Förhallande till Vatten, deras Plasticitetsgränser och Plasticitetsgrader. Kungliga Lantbruksakademiens **Handlingar och Tidskrift**, v. 50, n. 2, p. 132-138, 1911.
- BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do estado de São Paulo.** 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba..
- BELLOTE, A. F. J. **Influência dos nutrientes minerais e dos atributos do solo sobre a produtividade, a estrutura anatômica e a densidade da madeira produzida pelo *Pinus taeda*.** 2006. 96 f. Relatório final (Pós-Doutorado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998.
- BENOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root responses. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 341-358, 1990.
- BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduos de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97 -120.
- BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base nas características do meio físico.** 2007. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advanced Soil Science**, v. 9, p. 177-213, 1989.
- BRADY, N. C. **The nature and properties of soils.** 11th. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 255 p.
- BRYNES, W. R.; McFEE, W. W.; STEINNHARDT, G. C. **Soil compaction related to agricultural and construction operations.** West Lafayette: Purdue University, Agricultural Experiment Station, Department of Forestry Natural Resources, 1982. Paginação irregular. (Station bulletin, n. 397).
- CARVALHO, A. P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B. de; MACHADO, S. A.; POTTER R. O.; FASOLO, P. J.; FERREIRA, C. A.; BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, 1999.
- CAVICHIOLO, S. R. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda*.** 2005. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CAVICHIOLO, S. R.; DEDECEK, R.; GAVA, J. L. Preparo do solo e o estado nutricional da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 120-127, dez. 2004.
- CHILDS, E. C.; COLLIS-GEORGE, N. The permeability of porous materials. **Proceedings of the Royal Society: Ser. A**, v. 201, p. 392-405, 1950.
- CORREIA, J. R.; COSTA, L. M. da; NEVES, J. C. L.; CRUZ, C. D. Análise de trilha ("path analysis") no estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do gênero *Pinus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 161-169, 1996.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MANIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p.
- DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O.; GOMES, F. S. Modificações das características físicas do solo pela aplicação de resíduo celulósico e desenvolvimento inicial de *Pinus taeda*. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPN, 10., 2002, São Paulo. **Anais**. São Paulo: SBPN, 2002. 1 CD ROM.

- DEDECEK, R. A. **Adequação de áreas agrícolas para o plantio de *Pinus taeda***. Colombo, Embrapa Florestas, 2005. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 142).
- DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWALL, M. F. G.; SIMON, A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 205-215, 2007.
- DEDECEK, R. A.; MENEGOL, O.; BELLOTE, A. F. J. Avaliação da compactação do solo em plantios jovens de *Pinus taeda*, com diferentes sistemas de preparo do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 5-21, 2000.
- DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.
- DOLDAN, M. E. Q. Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 20, n. 1-2, p. 54-55, 1990.
- DOUGHERTY, P. M.; GRESHAM, C. A. Conceptual analysis of southern pine plantation establishment and early growth. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 12, n. 3, p. 160-166, 1988.
- FERNANDES, H. C.; VITORIA, E. L. Avaliação dos níveis de compactação de um solo florestal em relação à trafegabilidade das máquinas. **Revista Árvore**, v. 22, n. 4, p. 521-526, 1998.
- FORSYTHE, W. Física de suelos: manual de laboratorio. San José: IICA, 1980. 212 p. (IICA. Libros y materiales educativos, 25).
- FOX, R. T. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 187-202, 2000.
- FREE, G. R.; LAMB JUNIOR, J.; CARLETON, E. A. Compactibility of certain soils as related to organic matter and erosion. **Agronomy Journal**, n. 39, p. 1068-1076, 1947.
- FROELICH, H. A.; MILES, D. W.; ROBBINS, R. W. Growth of young *Pinus ponderosa* and *P. contorta* on compacted soil in Central Washington. **Forest Ecology and Management**, n. 15, p. 285-294, 1986.
- GHUMAN, B. S.; LAL, R. Effects of soil wetness at the time of land clearing on physical properties and crop response on an Ultisol in Southern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 22, p. 1-11, 1992.
- HALVERSON, H. G.; ZISA, R. P. **Measuring the response of conifer seedlings to soil compaction stress**. Broomall: USDA, Forest Service, 1982. 65 p. (USDA. For. Serv. Res Paper, NE-599).
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413 p.
- HOWARD, R. F.; SINGER, M. J.; FRANTZ, G. A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 45, n. 2, p. 231-236, 1981.
- HUANG, J.; LACEY, S. T.; RYAN, P. J. Impact of forest harvesting on the hydraulic properties of surface soil. **Soil Science**, n. 161, p. 79-86, 1996.
- INCERTI, M.; CLINNICK, P. F.; WILLATT, S. T. Changes in the physical properties of a forest soil following logging. **Australian Forest Research**, n. 17, p. 91-98, 1987.
- LACEY, S. T. **Soil deformation and erosion forestry**. Sydney: Forest Commission of New South Wales, 1993. 62 p.
- LACEY, S. T.; RYAN, P. J.; HUANG, J.; WEISS, D. J. **Soil physical property change from forest harvesting in New South Wales**. Sydney: Research Division/State Forests of New South Wales, 1994. 81 p. (Research Paper, 25)
- LAL, R.; GREENLAND, D. J. (Ed.). **Soil physical properties and crop production in the tropics**. Chichester: J. Wiley, 1979. 551 p.
- LASO GARICOITS, L. S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba**. 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LIPIEC, J.; HAKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S.; KOSSOWSKI, J. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, n. 19, p. 307-317, 1991.
- MACEDO, P. R. de O.; TEIXEIRA, I. J. L. Influência do preparo do solo para reforma florestal no enraizamento de *E. saligna* de 21 meses e suas correlações com o desenvolvimento da floresta. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS, 1988, Belo Horizonte. **Anais**. Viçosa: SIF, 1988. p. 42-58.
- MATOS, J. L. B. de; KEINERT JÚNIOR, S. **Avaliação de características da madeira de plantios de *Pinus* spp. das áreas da Iguazu Celulose e Papel S.A.**: relatório final. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 55 p.
- MATTHIES, D.; WEIXLER, H.; HESS, U. Structural changes in forest soils caused by vehicle travel. **AF2 Der Wald**, n. 50, p. 1281-1221, 1995.
- MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliotii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MILDE, G. A. **Utilização do diâmetro médio ponderado das partículas do solo no estabelecimento da susceptibilidade à compactação**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge in soil science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1629-1642, 1996.
- NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. Towards sustained productivity of tropical plantations: science and practice. In: NAMBIAR, E. K. S. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 527-553. (ACIAR Monograph, n. 43).
- PONDER, F.; MIKKELSON, N. M. Characteristics of a long term forest soil productivity research site in Missouri. In: CENTRAL HARDWOOD FOREST CONFERENCE, 10., 1995, Morgantown. **Proceedings**. Radnor: USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1995. p. 272-281. (USDA. For. Ser. Gen. Tec. Rep., NE-197).
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- POWERS, R. F.; MORRISON, I. K. Soil and sustainable forest productivity: a preamble. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 6, p. 1613, 1996.
- POWERS, R. F.; ALBAN, D. H.; RUARK, G. A.; TIARKS, A. E. A soil research approach to evaluating management impacts on long term productivity. In: DICK, W. J.; MECS, C. A. (Ed.). **Impact of intensive harvesting on forest site productivity**: proceedings... Rotorua: Forest Research Institute, 1990. p. 127-145. (FRI Bulletin, n. 159).
- RAB, M. A. Changes in physical properties of a soil associated with logging of *E. regnans* forest in Southern Australia. **Forest Ecology Management**, n. 70, p. 215-229, 1994.
- RAB, M. A. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *E. regnans* forest of Southern Australia. **Forest Ecology Management**, n. 84, p. 159-176, 1996.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J. L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 32-93.
- RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.
- RIGATTO, P. A. **Avaliação da qualidade da Madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- SANDS, R.; GREACEN, E. L.; GERARD, C. J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: I. a penetrometer study. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, n. 1, p. 101-113, 1979.
- SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. da. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, p. 107-111, 1987.
- SCHÖUNAU, A. P. G.; ALDWORTH, W. J. K. Site evaluation in black wattle with special reference to soil factors. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 156, p. 35-43, 1991.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte primário da madeira. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 9-16, 1998.
- SHETRON, S. G.; STUROS, J. A.; PADLEY, E.; TRETTIN, C. Forest soil compaction: effect of multiple passes and loadings on wheel track surface soil bulk density. **Northern Journal of Applied Forestry**, n. 5, p. 120-123, 1988.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, n. 61, p. 877-883, 1997.
- SMETHURST, P. J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1-3, p. 397-411, 2000.
- SNOWDON, P.; BENSON, M. L. Effects of combinations of irrigation and fertilization on the growth and above-ground biomass production of *Pinus radiata*. **Forest Ecology and Management**, v. 52, n. 1/4, p. 87-116, 1992.
- THEODOROU, C.; CAMERON, J. N.; BOWEN, G. D. Growth of roots of different *Pinus radiata* genotypes in soil at different strength and aeration. **Australian Forestry**, Sydney, v. 54, p. 52-59, 1991.
- VOORHEES, W. B.; JOHNSON, J. F.; RANDALL, G. W.; NELSON, W. W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, v. 81, p. 294-303, 1989.
- WEAVER, H. A.; JAMISON, V. C. Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. **Soil Science**, v. 71, n. 1, p. 15-23, 1951.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 26, p. 189-193, 1971.
- WOLKOWSKI, R. P. Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability, and crop growth: a review. **Journal of Production Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 460-469, 1990.
- WORREL, R.; HAMPSON, A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils: a review. **Forestry**, v. 70, n. 1, p. 61-84, 1987.
- ZOBEL, B. J.; WYK, G. V.; STAHL, P. **Growing exotic forest**. New York: J. Wiley, 1987. 508 p.

Planejamento e Manejo da Plantação de *Pinus*

Edilson Batista de Oliveira

1. Introdução

Este capítulo tem como objetivo subsidiar os proprietários de pequenas e médias plantações de pínus, com informações técnicas e ferramentas computacionais para o planejamento da produção e manejo de suas florestas. Inicialmente, é importante ter o conhecimento de algumas características das plantações florestais.

Nos povoamentos de pínus, ocorrem variações no tamanho das árvores devido às características do local ou sítio (solo e clima). A qualidade do sítio pode ser avaliada através do crescimento da altura dominante das árvores. Existem várias definições para altura dominante (AD). A mais usual é a que considera AD como a altura média das 100 árvores de maior diâmetro presentes em uma parcela de amostragem de 1 ha. Outra definição considera AD como a altura média das 100 árvores mais altas do povoamento ou como a média da altura de 20 % das árvores de maior diâmetro ou altura do povoamento. Na prática, tem sido comum considerar AD como a altura média das quatro árvores de maior diâmetro, em uma parcela de amostragem de 400 m².

O termo índice de sítio (IS) refere-se à altura dominante em uma idade de referência (ex: 15

anos). Assim, quanto maior o IS, maior é a capacidade de produção daquele local (Tabela 1). A variação no tamanho das árvores em um povoamento ocorre, basicamente, devido aos fatores genéticos e às condições individuais de vigor e de acesso à luz, aos nutrientes e à água. São denominadas dominantes as maiores árvores, cujas copas estão mais expostas à luz do sol. Também com acesso à luz solar, mas não tanto quanto as dominantes, encontram-se as co-dominantes. Em seqüência, estão as intermediárias, que recebem alguma luz solar na parte superior da copa e, finalmente, as supressas que, praticamente, não recebem luz solar direta.

Em um povoamento de pínus, plantado no espaçamento tradicional, a restrição no espaço entre árvores, à medida que as árvores crescem, tende a provocar declínio no vigor em um grande número de árvores, aumentando a freqüência das árvores supressas e das intermediárias. Muitas delas tendem a morrer e a floresta torna-se suscetível ao ataque de pragas como a vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) em *P. taeda*. Além disso, árvores com crescimento estagnado tendem a prejudicar o crescimento das outras em sua vizinhança devido à competição. A principal maneira de solucionar este problema é mediante desbastes.

Tabela 1. Classificação de sítio para *Pinus taeda* na região Sul do Brasil - $S * EXP((-4,6433 * (((1/A)^{0,56}) - ((1/15)^{0,56}))))$.

Idade (anos)	ÍNDICE DE SÍTIO (m)																						
	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	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0
4	4,9	5,1	5,2	5,4	5,6	5,7	5,9	6,1	6,2	6,4	6,5	6,7	6,9	7,0	7,2	7,4	7,5	7,7	7,9	8,0	8,2	8,3	8,5
5	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,9
6	7,6	7,8	8,1	8,3	8,6	8,8	9,1	9,3	9,6	9,8	10,1	10,4	10,6	10,9	11,1	11,4	11,6	11,9	12,1	12,4	12,6	12,9	13,1
7	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,2	14,5	14,8	15,1
8	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,0	13,3	13,7	14,0	14,3	14,6	15,0	15,3	15,6	15,9	16,3	16,6	16,9
9	10,7	11,1	11,4	11,8	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	13,9	14,3	14,6	15,0	15,3	15,7	16,1	16,4	16,8	17,1	17,5	17,8	18,2	18,6
10	11,6	12,0	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,7	15,0	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4	17,7	18,1	18,5	18,9	19,3	19,7	20,1
11	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,2	15,7	16,1	16,5	16,9	17,3	17,7	18,1	18,5	19,0	19,4	19,8	20,2	20,6	21,0	21,4
12	13,1	13,5	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2	16,6	17,0	17,5	17,9	18,3	18,8	19,2	19,6	20,1	20,5	21,0	21,4	21,8	22,3	22,7
13	13,8	14,2	14,7	15,2	15,6	16,1	16,5	17,0	17,5	17,9	18,4	18,8	19,3	19,7	20,2	20,7	21,1	21,6	22,0	22,5	23,0	23,4	23,9
14	14,4	14,9	15,4	15,9	16,3	16,8	17,3	17,8	18,3	18,7	19,2	19,7	20,2	20,7	21,1	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,5	25,0
15	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	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0
16	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,7	19,2	19,7	20,2	20,7	21,3	21,8	22,3	22,8	23,3	23,8	24,4	24,9	25,4	25,9	26,4	27,0
17	16,1	16,6	17,1	17,7	18,2	18,7	19,3	19,8	20,4	20,9	21,4	22,0	22,5	23,0	23,6	24,1	24,6	25,2	25,7	26,2	26,8	27,3	27,9
18	16,6	17,1	17,7	18,2	18,8	19,3	19,9	20,4	21,0	21,5	22,1	22,6	23,2	23,7	24,3	24,8	25,4	25,9	26,5	27,0	27,6	28,2	28,7
19	17,0	17,6	18,2	18,7	19,3	19,9	20,4	21,0	21,6	22,1	22,7	23,3	23,8	24,4	25,0	25,5	26,1	26,7	27,2	27,8	28,4	28,9	29,5
20	17,5	18,0	18,6	19,2	19,8	20,4	20,9	21,5	22,1	22,7	23,3	23,9	24,4	25,0	25,6	26,2	26,8	27,3	27,9	28,5	29,1	29,7	30,3
21	17,9	18,5	19,1	19,7	20,3	20,8	21,4	22,0	22,6	23,2	23,8	24,4	25,0	25,6	26,2	26,8	27,4	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,0
22	18,3	18,9	19,5	20,1	20,7	21,3	21,9	22,5	23,1	23,7	24,3	25,0	25,6	26,2	26,8	27,4	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,0	31,7
23	18,6	19,3	19,9	20,5	21,1	21,7	22,4	23,0	23,6	24,2	24,8	25,5	26,1	26,7	27,3	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,1	31,7	32,3
24	19,0	19,6	20,3	20,9	21,5	22,2	22,8	23,4	24,1	24,7	25,3	26,0	26,6	27,2	27,9	28,5	29,1	29,8	30,4	31,0	31,6	32,3	32,9
25	19,3	20,0	20,6	21,3	21,9	22,6	23,2	23,8	24,5	25,1	25,8	26,4	27,1	27,7	28,3	29,0	29,6	30,3	30,9	31,6	32,2	32,9	33,5
26	19,7	20,3	21,0	21,6	22,3	22,9	23,6	24,2	24,9	25,5	26,2	26,9	27,5	28,2	28,8	29,5	30,1	30,8	31,4	32,1	32,8	33,4	34,1
27	20,0	20,6	21,3	22,0	22,6	23,3	24,0	24,6	25,3	26,0	26,6	27,3	27,9	28,6	29,3	29,9	30,6	31,3	31,9	32,6	33,3	33,9	34,6
28	20,3	20,9	21,6	22,3	23,0	23,6	24,3	25,0	25,7	26,3	27,0	27,7	28,4	29,0	29,7	30,4	31,1	31,7	32,4	33,1	33,8	34,4	35,1
29	20,5	21,2	21,9	22,6	23,3	24,0	24,7	25,3	26,0	26,7	27,4	28,1	28,8	29,4	30,1	30,8	31,5	32,2	32,9	33,6	34,2	34,9	35,6
30	20,8	21,5	22,2	22,9	23,6	24,3	25,0	25,7	26,4	27,1	27,8	28,5	29,1	29,8	30,5	31,2	31,9	32,6	33,3	34,0	34,7	35,4	36,1

Os desbastes possibilitam reduzir o número de árvores por área à medida que o povoamento passe a requerer maior espaçamento entre árvores. Uma das formas de desbaste envolve a manutenção das melhores árvores, eliminando-se as supressas, as bifurcadas, as doentes e as quebradas, melhorando, assim, o produto final e a rentabilidade econômica do povoamento. Outra vantagem do manejo é a possibilidade de se antecipar a renda para o produtor.

Basicamente, os desbastes podem ser:

a) Sistemáticos: quando se removem as árvores a partir de um esquema fixo de

escolha, em função da disposição no povoamento. Por exemplo, a remoção de uma fileira inteira de árvores, intercalada com duas fileiras que permanecem intactas;

b) Seletivos: neste caso, removem-se as menores árvores do povoamento (desbastes “por baixo”). Tanto o diâmetro quanto a altura podem ser usadas como variáveis na escolha das árvores a serem removidas (Figura 1);

c) Mistos: será denominado assim o desbaste em que se processa primeiro o desbaste sistemático e, em seguida, nas linhas remanescentes, o seletivo.

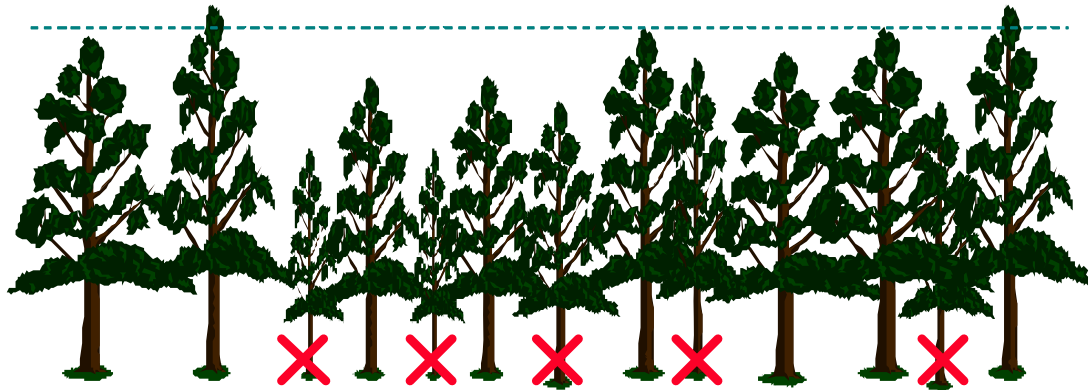


Figura 1. Exemplo de árvores a serem removidas em um desbaste seletivo (assinaladas com X). A linha pontilhada representa a Altura Dominante.

No processo de desbaste, deve-se promover um bom aproveitamento dos espaços disponíveis no povoamento, evitando-se a formação de clareiras. Neste caso, árvores menores que tenham potencial para crescimento devem ser mantidas. Na decisão quanto à idade, ao tipo e à intensidade do desbaste a ser aplicado, devem-se levar em consideração diversos fatores, especialmente

os objetivos da produção e a maximização da rentabilidade econômica. Cada povoamento pode necessitar de uma forma específica de manejo, incluindo desbastes e variações na idade do corte final. O manejo mais adequado, através de desbastes, varia em função de fatores como: a) qualidade do sítio (solo, clima); b) material genético plantado; c) espaçamento inicial do plantio; d) densidade

atual; e e) objetivo da produção. Quando um destes fatores for alterado, o regime ideal de manejo também se altera.

2. Softwares para Manejo e Análise Econômica

Os *softwares* **SisPinus** e **Planin**, desenvolvidos pela *Embrapa Florestas*, podem auxiliar na tomada de decisões de manejo em povoamentos de pinus. Estes estão amplamente difundidos entre os produtores de pinus do Brasil e de outros países. Com eles, os produtores podem, para cada condição de clima e solo, testar no computador as opções de manejo da floresta, fazer prognoses de produções presente e futura, efetuar análises econômicas e, com base nisso, implementar a alternativa mais favorável ao seu caso.

As tabelas de crescimento geradas pelo **SisPinus** apresentam resultados anuais de alturas dominante e média das árvores, diâmetro médio, número de árvores por hectare, volume total e incrementos médio e corrente anual. Para cada colheita, tanto de desbastes como da rotação final, são geradas tabelas de produção por classe de DAP, com sortimento por tipo de utilização industrial como laminação, desdobro, produção de celulose e geração de energia. Outras informações úteis para as decisões sobre o manejo florestal podem ser visualizadas em gráficos, destacando-se o índice de densidade da plantação (Índice de Reineke) e o índice de espaçamento relativo (Índice de Hart-Backing).

O **Planin** possibilita o cálculo dos parâmetros de avaliação econômico-financeira e a análise de sensibilidade da rentabilidade a diferentes taxas de atratividade. Nele, consideram-se os diversos segmentos de

custos operacionais de implantação, manutenção e exploração florestal. Como resultados, o programa fornece os fluxos de caixa, a análise de sensibilidade e os critérios de análise econômico-financeira mais utilizados pelas maiores empresas do Brasil. Além disso, o programa possibilita ao usuário acompanhar seus custos, emitindo relatórios com os gastos anuais.

2.1. SisPinus

O *software* **SisPinus** é um sistema para simulação do manejo, do crescimento e da produção de *Pinus*. Ele foi desenvolvido para povoamentos de *P. taeda*, *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. Este programa está amplamente difundido entre os produtores de pinus no Brasil. Juntamente com o **Planin**, o **SisPinus** tem sido utilizado no planejamento estratégico da produção, definição de regimes de manejo, cálculo da produção florestal, sortimento de madeira e análise econômica, inclusive para os cálculos de captura de carbono e de exportação de nutrientes ao longo do processo de produção florestal.

Para operacionalizar os sistemas, o usuário deve fornecer os dados de inventário da floresta. Com base nisso, os *softwares* podem ser utilizados para se estimar o crescimento das árvores e a produção, indicando a quantidade de madeira que o povoamento pode produzir, em qualquer idade, até a idade indicada para a colheita final. Podem ser simulados desbastes, com previsão do seu crescimento, produção anual e o sortimento de madeira por classe diamétrica para usos múltiplos das árvores removidas.

O **SisPinus** possibilita simular os desbastes e testar as conseqüências de qualquer manejo

que se deseja aplicar nos povoamentos. Ele fornece informações quanto à melhor alternativa sobre quando, quanto e como desbastar, além de sugerir a idade mais recomendada para a colheita final. Ele mostra, também, o crescimento e a produção da floresta, a produção por classes de diâmetro e o volume de madeira por tipo de utilização industrial (Ex: laminação, desdôbro, produção de celulose e geração de energia).

2.1.1. Exemplo de utilização do SisPinus

Tome-se, por exemplo, um povoamento de *Pinus taeda* que teve 2 mil árvores plantadas por hectare e tenha apresentado 95 % de

sobrevivência no primeiro ano. Suponha-se que o índice de sítio (dado pela altura dominante aos 15 anos) é de 21 m e o nível de homogeneidade do plantio tenha sido 5 (alta homogeneidade). Desejando-se efetuar um desbaste misto aos nove anos de idade, inicia-se com um desbaste sistemático, removendo-se uma linha em cada três, complementado com um desbaste seletivo, deixando-se 1.200 árvores remanescentes. Para calcular a produção resultante, usa-se um intervalo de classes de diâmetro de 2 cm, distribuindo a madeira resultante entre os seguintes produtos (Tabela 2):

Tabela 2. Dimensões das toras de pínus destinadas para cada segmento industrial.

Destinação da madeira	Comprimento (m)	Diâmetro mínimo (cm)
Laminação	2,40	25
Desdôbro	2,40	15
Celulose	1,0	8
Energia	Sem restrição	Sem restrição

O *software* efetua o sortimento dos produtos, verificando cada árvore a partir da base, medindo, prioritariamente, o que pode ser utilizado no segmento industrial mais valorizado. No exemplo dado, o segmento mais valorizado é da laminação, seguido pelo de desdobro, da produção de celulose e, finalmente, da geração de energia. O usuário pode indicar novas classes e dimensões de toras para este sortimento.

No item **Inventário** (Figura 2), especifica-se a densidade inicial da população (2.000), a percentagem de sobrevivência (95 %) e o nível de homogeneidade do plantio (5). Neste item, existem três opções para o usuário, em função da sua disponibilidade de dados: 1) é o caso em que há a menor quantidade de informações (caso usado no exemplo); 2) o usuário deve informar o **Número de árvores em determinada idade**; e 3) deve-se informar,

também, o **Diâmetro quadrático médio** ou **Área basal** estimados em inventários periódicos.

O **Índice de melhoramento do plantio** relaciona-se com a produtividade e a homogeneidade da floresta. Ele varia de 1 a 10 e se trata de um parâmetro que o usuário tem flexibilidade para adotar, como o baseado em medidas estatísticas de dispersão (desvio padrão) ou alguma medida empírica. Quando o usuário trabalha com dados de inventário, o índice de sítio pode ser obtido utilizando-se as tabelas de altura dominante em função da idade, como as elaboradas para *P. taeda* cultivado na Região Sul do Brasil e apresentadas no final deste capítulo.

A definição da idade da colheita final é informada no item **Opções de Listagem** (Figura

3). Devem-se especificar a idade inicial desejada (1), a idade final (22) e o intervalo entre idades (2), além do intervalo entre as classes de diâmetro (2).

No item **Desbastes** (Figura 4), foi usado, como exemplo, um desbaste aos oito anos e outro aos 14, especificando-se seus detalhes. O primeiro desbaste será misto (sistemático seguido de seletivo), removendo-se uma em cada cinco linhas, sistematicamente e, em seguida, efetuando-se o desbaste seletivo, deixando 1.200 árvores remanescentes. No desbaste seletivo, aos 14 anos, serão removidas as menores árvores, deixando-se 30 m² de área basal remanescente.

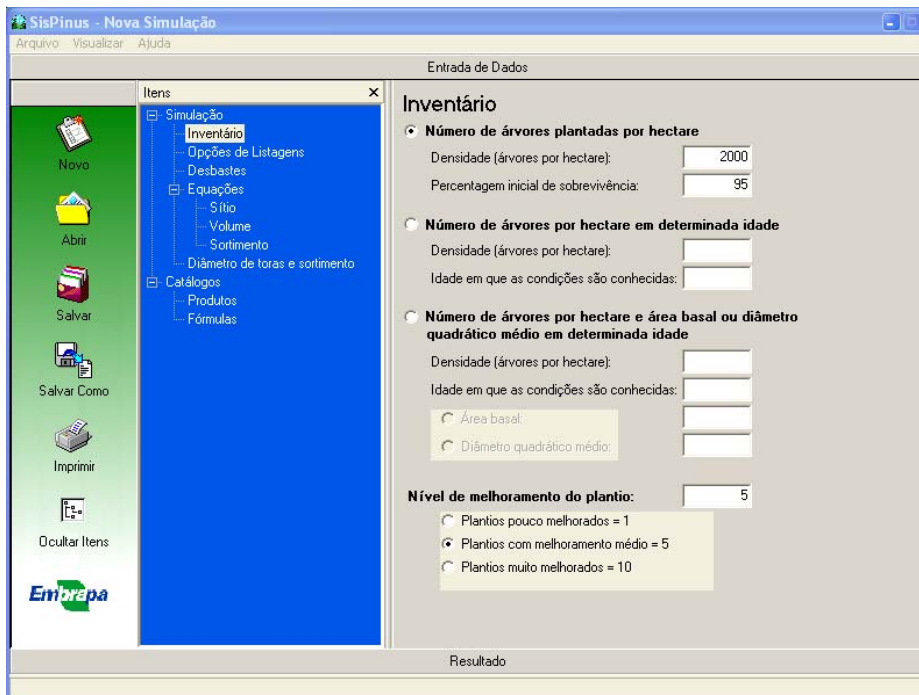


Figura 2. Tela do SisPinus demonstrando a entrada de dados de inventário.

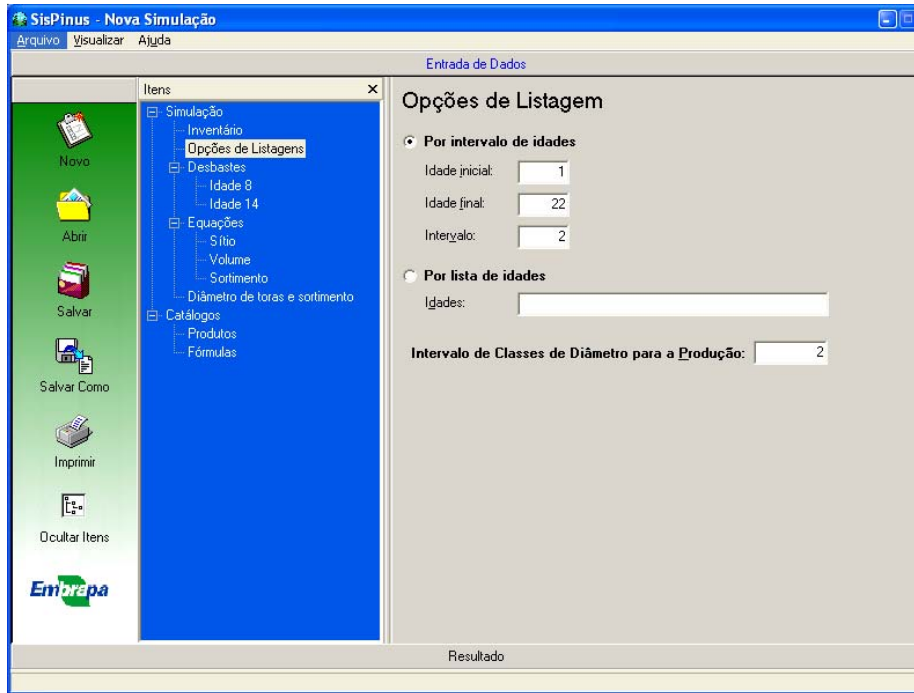


Figura 3. Tela do SisPinus demonstrando a entrada de dados nas opções de listagem.

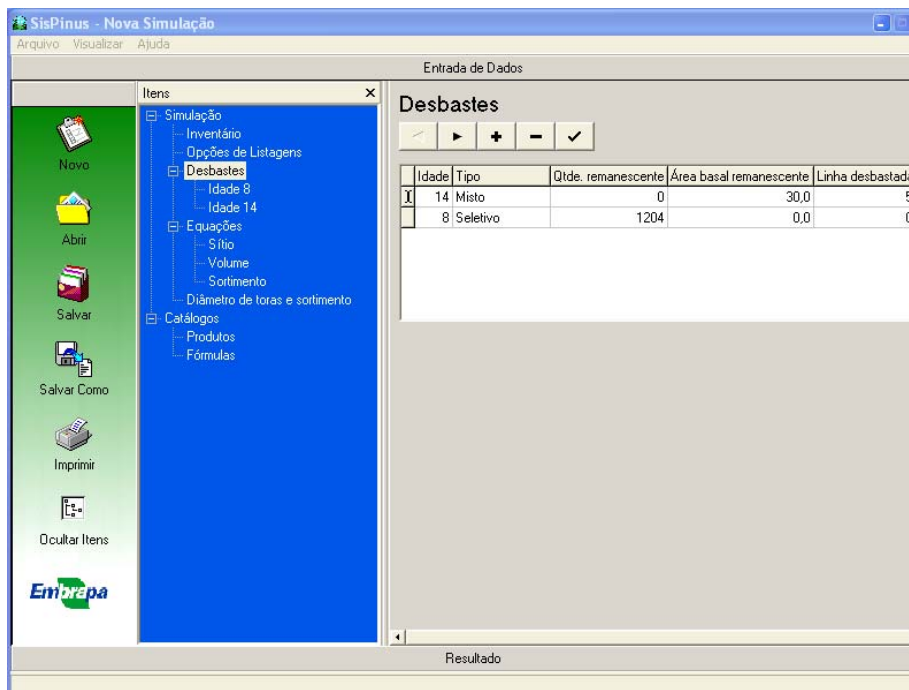


Figura 4. Tela do SisPinus demonstrando a entrada de dados dos desbastes.

No item **Equações**, especificam-se as equações que se deseja usar nos cálculos. Em seguida, definem-se os produtos que serão usados no cálculo da produção no item **Diâmetro de toras e sortimento**. Na seqüência, informa-se o índice de sítio (22) no item **Simulação**. Pode-se, também, dar um nome para a simulação e gravá-la para futuras consultas. Finalmente, clica-se em **Resultados** para visualizar as tabelas

de crescimento e produção resultantes (Tabelas 3 a 5), bem como os volumes de madeira removidos e os remanescentes após os desbastes aos oito e aos 14 anos de idade (Tabela 6). O sortimento das toras removidas em cada desbaste (Tabelas 7 a 9) fornece informações quanto ao valor que se pode obter pela destinação das toras para cada segmento industrial, de acordo com as suas dimensões.

Tabela 3. Tabela de produção de *Pinus taeda* até os oito anos de idade, em povoamento plantado com 2 mil árvores/ha e 95 % de sobrevivência no primeiro ano.

Idade	Altura dominante (m)	Árvores/ha	Diâmetro médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m ² /ha)	Volume total (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	ICA (m ³ /ha)
1	0,6	1.900	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,5	1.900	2,2	2,1	0,7	0,6	0,3	0,6
3	4,7	1.900	5,3	4,0	4,2	7,2	2,4	6,5
4	6,8	1.900	8,3	5,9	10,3	25,4	6,4	18,3
5	8,7	1.899	10,8	7,6	17,3	55,2	11,0	29,8
6	10,4	1.898	12,8	9,1	24,4	93,7	15,6	38,4
7	12,0	1.895	14,4	10,5	31,1	137,7	19,7	44,0
8	13,5	1.889	15,8	11,8	37,2	184,8	23,1	47,2

Tabela 4. Produção de *Pinus taeda* em povoamento descrito na Tabela 1, dos nove aos 14 anos de idade, após remoção de 685 árvores/ha.

Idade	Altura dominante (m)	Árvores/ha	Diâmetro médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m ² /ha)	Volume total (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	ICA (m ³ /ha)
9	15,3	1.200	18,5	13,7	32,4	187,3	25,7	46,2
10	16,6	1.198	19,7	14,8	36,7	228,1	27,2	40,8
11	17,7	1.193	20,8	15,7	40,5	268,6	28,4	40,5
12	18,8	1.187	21,7	16,7	43,9	308,4	29,3	39,8
13	19,8	1.179	22,5	17,5	47,0	347,1	30,1	38,8
14	20,8	1.169	23,3	18,3	49,7	384,5	30,6	37,4

Tabela 5. Produção de *Pinus taeda* em povoamento descrito na Tabela 2, dos 15 aos 22 anos de idade, após remoção de uma em cada cinco linhas, seguida de remoção de 9,8 m² de área basal por hectare.

Idade	Altura dominante (m)	Árvores/ha	Diâmetro médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m ² /ha)	Volume total (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	ICA (m ³ /ha)
15	21,6	641	24,9	20,2	30,0	266,3	30,3	26,3
16	22,5	639	26,0	20,7	33,9	295,8	30,3	29,5
17	23,3	638	26,8	21,4	35,9	324,4	30,2	28,6
18	24,1	636	27,5	22,1	37,8	352,2	30,0	27,8
19	24,9	634	28,2	22,8	39,5	379,3	29,9	27,1
20	25,6	631	28,8	23,4	41,1	405,7	29,7	26,4
21	26,3	629	29,4	24,0	42,6	431,4	29,5	25,7
22	27,0	626	29,9	24,6	44,0	456,5	29,3	25,0

Tabela 6. Estimativas de volume de madeira das árvores de *P. taeda* removidas e das remanescentes no povoamento após desbastes, aos oito e aos 14 anos de idade.

Idade (anos)	Volume removido (m ³ /ha)	Volume remanescente (m ³ /ha)
8	43,7	141,1
14	144,6	240,0

Tabela 7. Sortimento das toras das árvores removidas no desbaste de *P. taeda*, aos oito anos de idade.

Diâmetros (cm)	Árv./ha	Alt. média (m)	Volume total (m ³ /ha)	Volumes de madeira (m ³ /ha)			
				Laminação	Desdôbro	Celulose	Energia
6,0- 8,0	1	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,0-10,0	14	9,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5
10,0-12,0	101	10,3	5,9	0,0	0,0	2,9	3,0
12,0-14,0	327	10,9	27,7	0,0	0,0	21,2	6,5
14,0-16,0	184	11,5	1,6	0,0	0,0	1,2	0,4
16,0-18,0	53	10,2	7,1	0,0	0,0	5,7	1,4
18,0-20,0	5	10,9	0,8	0,0	0,4	0,4	0,0
Total		11,2	43,7	0,0	0,4	31,3	12,0

Tabela 8. Sortimento das toras das árvores removidas no desbaste de *P. taeda*, aos 14 anos de idade.

Diâmetros (cm)	Árv./ha	Alt. média (m)	Volume total (m ³ /ha)	Volumes de madeira (m ³ /ha)			
				Laminação	Desdôbro	Celulose	Energia
16,0-18,0	17	16,3	3,9	0,0	1,3	2,2	0,4
18,0-20,0	136	17,2	37,7	0,0	21,1	11,9	4,6
20,0-22,0	173	17,8	23,5	0,0	12,8	9,5	1,2
22,0-24,0	101	17,4	35,7	0,0	26,5	6,6	2,6
24,0-26,0	61	18,4	24,8	0,0	20,3	4,0	0,5
26,0-28,0	29	19,3	13,6	3,7	7,6	2,0	0,4
28,0-30,0	9	20,1	4,7	1,4	2,9	0,3	0,2
30,0-32,0	1	20,8	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0
Total		18,3	144,6	5,3	92,8	36,4	9,9

Tabela 9. Sortimento das toras das árvores removidas no desbaste de *P. taeda*, aos 22 anos de idade.

Diâmetros (cm)	Árv./ha	Alt. média (m)	Volume total (m ³ /ha)	Volumes de madeira (m ³ /ha)			
				Laminação	Desdôbro	Celulose	Energia
22,0-24,0	1	21,7	0,4	0,0	0,3	0,1	0,0
24,0-26,0	48	23,1	23,2	0,0	19,6	2,9	0,7
26,0-28,0	137	23,9	77,8	19,2	45,3	10,3	3,0
28,0-30,0	165	24,6	111,4	26,8	73,1	9,8	1,7
30,0-32,0	137	25,2	108,1	45,3	50,6	10,1	2,1
32,0-34,0	86	25,7	78,8	44,2	29,7	3,0	1,9
34,0-36,0	40	26,3	41,8	28,3	10,6	2,6	0,3
36,0-38,0	11	26,9	13,4	10,4	2,0	0,9	0,2
38,0-40,0	1	27,7	1,5	1,1	0,3	0,0	0,0
Total		24,6	456,5	175,4	231,5	39,6	10,0

Os diâmetros médios são DAP (diâmetros à altura do peito = 1,3 m). Área basal refere-se à soma das áreas transversais de todas as árvores, considerando-se os DAP para os cálculos. A área basal por hectare é uma das variáveis que servem para medir a densidade da floresta. O número de árvores por hectare e o volume por hectare, também, podem ser utilizados.

O **SisPinus** gera gráficos de incrementos e de alguns índices de densidade que auxiliam na definição do manejo ideal. Estes gráficos servem de auxílio ao produtor para trabalhar melhor com o controle da densidade de seus povoamentos de pinus.

A densidade é o grau de aproveitamento do sítio pelas árvores. Ela pode ser expressa em número de árvores, área basal, volume ou outro critério por unidade de área. Densidades muito altas, apesar de possibilitarem o melhor aproveitamento do solo, água e luz, levam à produção de árvores com troncos finos, que podem não ter as características desejadas pelo produtor. Em densidades baixas, os recursos ambientais do sítio não são aproveitados em sua plenitude pelas árvores.

Clicando-se em **“Visualizar”** e **“Gráfico”**, pode-se ver uma tela (Figura 5), onde:

- Pontos vermelhos = Índice de densidade da Plantação (Índice de Reineke);
- Pontos azuis = Índice de espaçamento relativo (Índice de Hart-Becking);
- Marcações em X = indicação de alto risco de ocorrência de vespa-da-madeira;
- Linha rosa = Incremento corrente anual (ICA);
- Linha azul = Incremento médio anual (IMA);

- Linha verde = Volume total (dividido por 10).

Os três últimos itens são apresentados, também, na tabela de crescimento e produção do **SisPinus**. O ICA indica o quanto houve de acréscimo no volume total da floresta no último ano. O IMA é a média anual do volume total da floresta. Neste caso, deve ser considerada a soma do volume na idade do cálculo e os volumes já desbastados.

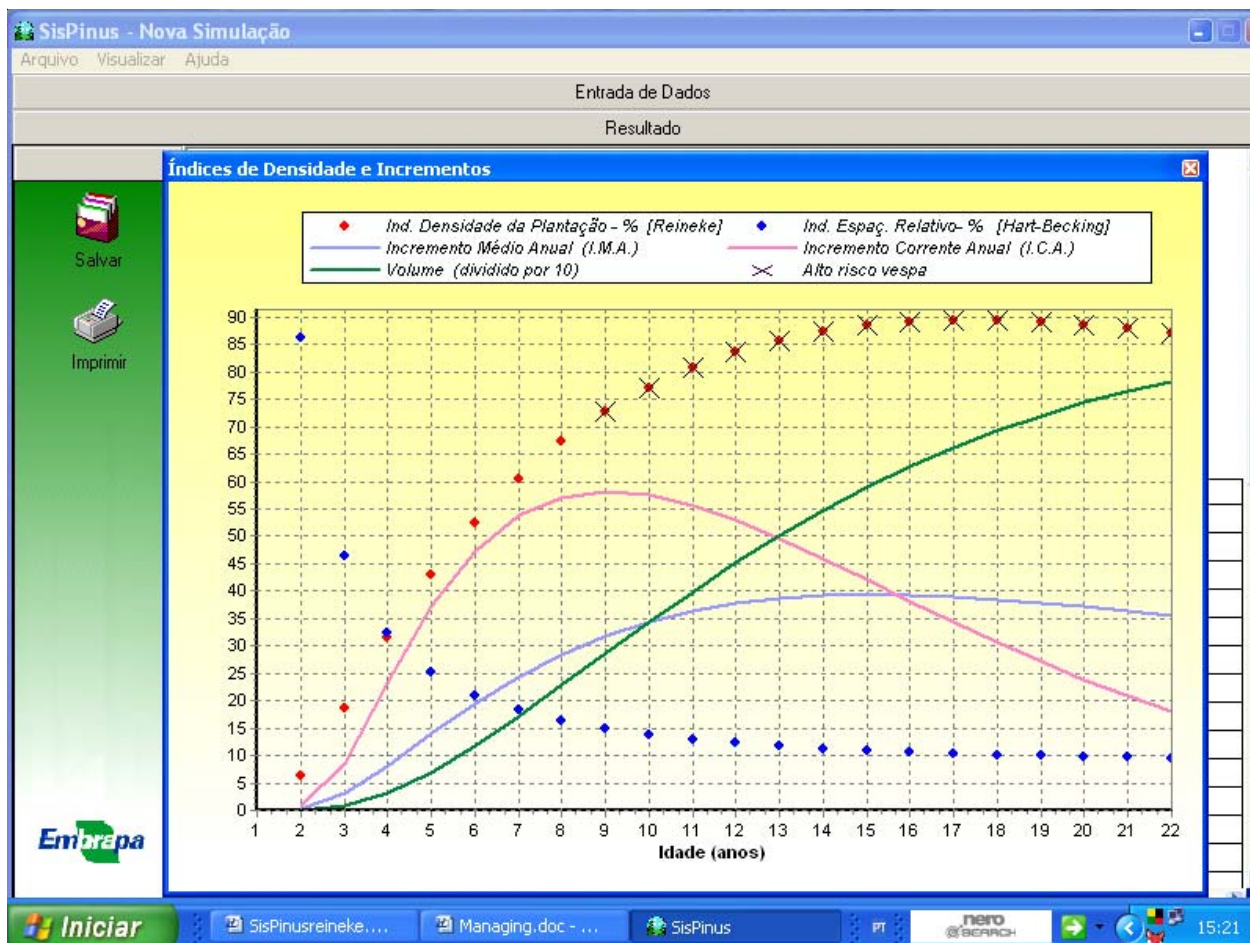


Figura 5. Tela do SisPinus demonstrando gráficos de diferentes variáveis em povoamentos de pinus ao longo das idades.

O **Índice de densidade Reineke** está baseado em plantações de pínus super-estocadas nas regiões produtoras do Brasil. Ele é apresentado em forma de percentual de ocupação do sítio pelo povoamento. No gráfico gerado, observa-se que, aos 9 anos, por exemplo, o povoamento ocupa 73 % do sítio. O aproveitamento do sítio segue aumentando em idades subseqüentes. Porém, a partir dos 9 anos, o programa revela a existência de alto risco de ataque de vespa-da-madeira, recomendando-se, assim, a realização de desbastes preventivos.

O **Índice de espaçamento relativo (S)** em porcentagem, ou **Índice de Hart-Becking**, é a relação entre o espaçamento médio entre árvores (**EM**) e a altura dominante (**H**):

$$S(\%) = 100.EM/H$$

O **EM** é calculado pela raiz quadrada da razão entre a área em hectares e o número de

árvores por hectare. O índice **S** tem grande aplicação na determinação de pesos em desbastes, no manejo para prevenção de incêndios florestais e pragas, bem como na estruturação de sistemas silvipastoris.

2.2. Planin

O **Planin** é um *software* que possibilita o cálculo dos parâmetros de avaliação econômico-financeira e a análise de sensibilidade da rentabilidade a diferentes taxas de atratividade (Figuras 6 a 9). Nele, consideram-se os diversos segmentos de custos operacionais de implantação, manutenção e colheita florestal. Com esse programa, obtêm-se estimativas de fluxo de caixa, análises de sensibilidade e os critérios de análise mais utilizados pelas empresas florestais do Brasil. Além disso, ele possibilita ao usuário acompanhar seus custos, emitindo relatórios dos gastos anuais.

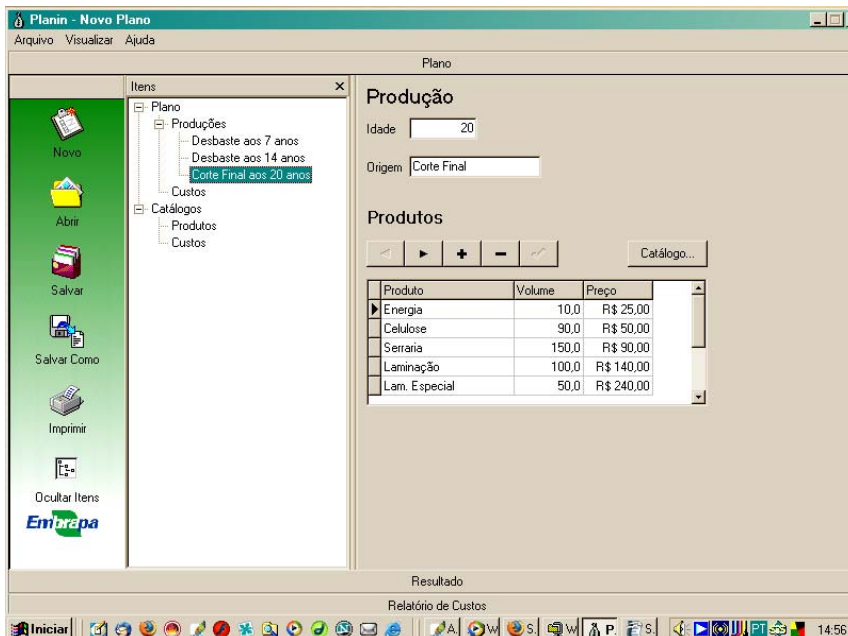


Figura 6. Estimativas de produção e análise econômica de povoamentos de pínus usando-se o *software* Planin.

Planin - Novo Plano

Arquivo Visualizar Ajuda

Plano

Resultado

PLANIN

Fluxo de Receitas e Custos para Colheita Final aos 20 anos.

Ano	Receitas (\$)	Custos (\$)	Receita Presente (\$)	Custo Presente (\$)
0	0,00	720,00	0,00	720,00
1	0,00	170,00	0,00	160,38
2	0,00	20,00	0,00	17,80
3	0,00	20,00	0,00	16,79
4	0,00	70,00	0,00	55,45
5	0,00	20,00	0,00	14,95
6	0,00	20,00	0,00	14,10
7	5.700,00	2.426,00	3.790,83	1.613,43
8	0,00	60,00	0,00	37,64
9	0,00	20,00	0,00	11,84
10	0,00	20,00	0,00	11,17
11	0,00	20,00	0,00	10,54
12	0,00	20,00	0,00	9,94
13	0,00	20,00	0,00	9,38
14	17.350,00	4.832,00	7.673,92	2.137,20
15	0,00	20,00	0,00	8,35
16	0,00	20,00	0,00	7,87

Relatório de Custos

14:55

Figura 7. Estimativas de fluxo de receitas e custos de povoamentos de pinus usando-se o *software* Planin.

Planin - Novo Plano

Arquivo Visualizar Ajuda

Plano

Resultado

Parâmetros para Análise Econômica

Receita Total:	67.300,00
Receita Total Líquida:	49.098,00
Receita Total Média:	3.204,76
Custo Total:	18.202,00
Custo Total Médio:	866,76
Receita Líquida Média:	2.338,00
Valor Presente da Receita:	25.262,11
Valor Presente dos Custos:	7.884,90
Valor Presente Líquido:	17.377,21
Valor Presente Líquido Anualizado:	1.477,14
Razão Benefício/Custo:	3,20
Valor Esperado da Terra:	24.619,03
Taxa Interna de Retorno:	31,26

Análise de Sensibilidade:

Juros	Valor Presente Líquido (R\$)	Valor Presente Líquido Anualizado (R\$)
2,00	34.397,75	2.923,96
4,00	24.338,40	2.068,87
6,00	18.202,00	1.477,14

Relatório de Custos

14:55

Figura 8. Estimativas de parâmetros para análise econômica de povoamentos de pinus usando-se o *software* Planin.

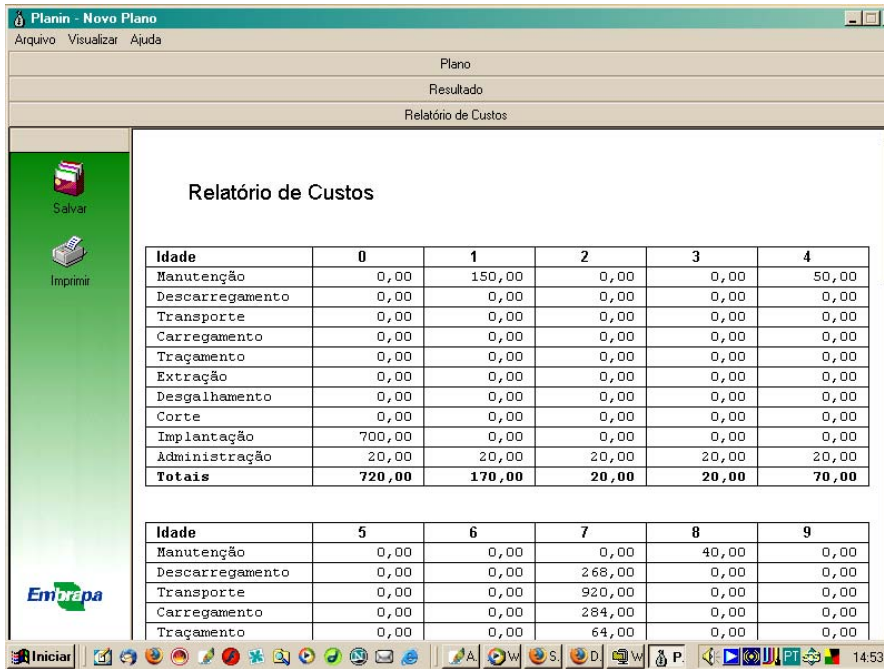


Figura 9. Relatório de custos de povoamentos de pínus usando-se o *software* Planin.

3. Manejo e Planejamento da Produção de Pínus

Considerando-se, como exemplo, uma propriedade com 100 ha de *Pinus taeda*, divididos em 10 talhões de tamanhos variáveis (Figura 10), onde as idades e os resultados do inventário, realizado no ano 2007, estão apresentados na Tabela 10.

Para todos os talhões, foi considerado o plantio no espaçamento de 2,0 m X 3,0 m em local com índice de sítio de 21 m (dado pela altura dominante aos 15 anos).

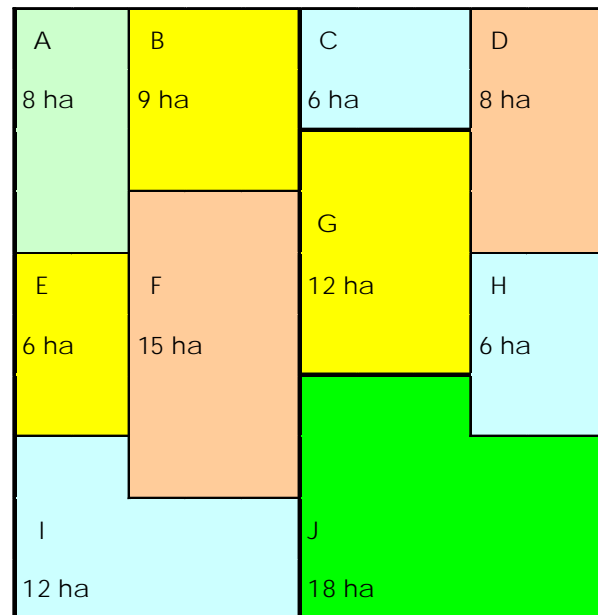


Figura 10. Talhões e respectivas áreas de plantação de *P. taeda*, totalizando 100 ha.

Tabela 10. Exemplo de dados de inventário em uma propriedade com 100 ha de *Pinus taeda* divididos em 10 talhões de tamanhos variáveis.

Talhão	Área (ha)	Idade (anos)	Árvores/ha	DAP (cm)	Volume (m ³ /ha)	Volume talhão	Vol.anual talhão
A	8,0	6	1.650	13,5	91,3	730	122
B	9,0	8	1.612	16,9	192,3	1.731	216
C	6,0	10	1.100	20,4	253	1.518	152
D	8,0	12	1.080	22,3	297,3	2.378	198
E	6,0	13	930	23,8	316	1.896	146
F	15,0	15	890	25,5	369,1	5.537	369
G	12,0	16	850	26,4	392	4.704	294
H	6,0	17	545	30,0	336,9	2.021	119
I	12,0	18	430	32,9	331,2	3.974	221
J	18,0	20	400	35,1	370,1	6.662	333
Total						31.152	2.170

O volume total de madeira, incrementado anualmente, nos 100 ha, é de 2.170 m³, que corresponde ao IMA de 21,7 m³/ha.ano. Não está sendo considerada a madeira colhida nos desbastes. Com exceção dos talhões A e B, os demais sofreram de um a três desbastes, com remoção de madeira estimada em 8,3 m³/ha. Este volume foi estimado usando-se o **Sispinus**. A média de IMA, ponderada por áreas, foi estimada em 30 m³/ha.ano. Para

manter a sustentabilidade da produção, os regimes de manejo serão planejados tendo por base este IMA (30 m³/ha.ano) ou 3.000 m³ a serem colhidos anualmente. Este valor será acrescido de 10 % como forma de compensar os primeiros seis anos de cultivo, quando nenhuma colheita é realizada. Será desconsiderado o volume já colhido, bem como os dos novos plantios nos talhões onde forem realizados cortes finais. Assim, o volume

para o planejamento será de 3.300 m³. Portanto, anualmente, será colhido nos desbastes e no corte final, 10 % a mais do que a floresta cresce, de maneira a compensar os anos iniciais do projeto em que não são efetuados desbastes.

Considerando-se o alto valor da madeira destinada à laminação (Tabela 11), o planejamento contemplará a maior produção de toras para laminação, em um horizonte de

10 anos, mantendo-se produções anuais constantes de 50 % da madeira para laminação, 40 % para desdobro e 10 % para produção de celulose.

Através de simulações sucessivas com o **SisPinus**, para cada talhão, foram obtidos os seguintes dados, de forma a atender: a) as especificações do planejamento; e b) as recomendações silviculturais de desbastes em idades e intensidades adequadas (Tabela 12).

Tabela 11. Preços da madeira de pínus (R\$/m³), em pé, de cada classe de destinação das toras.

Destinação da madeira	Classes diamétricas (cm)	Comprimento (m)	Preço (R\$/m³)
Celulose	8,0 - 17,9	2,4	40,0
Desdobro	18,0 - 24,9	2,4	90,0
Laminação	> 25	2,4	180,0

Tabela 12. Dados do planejamento da produção de *Pinus taeda* em um povoamento de 100 ha, em um período de 10 anos.

Ano	Talhão	Idade (anos)	Área (ha)	Desbaste	Produção de madeira (m ³) para				Renda (R\$1,00)
					Laminação	Desdóbro	Celulose	TOTAL	
2008	A	7	8	1°	0	0	180	180	7.200
	D	12	8	2°	0	376	338	714	47.360
	J	20	7	C.F.*	1.826	712	164	2.702	399.320
Total					1.826	1.088	682	3.596	453.880
2009	C	11	10	3°	99	937	203	1.239	110.270
	J	21	5	C.F.	1.425	505	175	2.105	308.950
	Total					1.524	1.442	378	3.344
2010	E	15	6	3°	62	720	237	1.019	85.440
	I	20	6	C.F.	1.570	647	140	2.357	346.430
	Total					1.632	1.367	377	3.376
2011	D	15	8	3°	61	665	145	870	76.630
	I	21	6	C.F.	1.570	647	140	2.357	346.430
	Total					1.630	1.312	285	3.227
2012	B	12	9	3°	268	720	303	1.291	125.160
	G	20	6	C.F.	1.285	655	124	2.064	295.210
	Total					1.553	1.375	428	3.355
2013	A	12	8	2°	0	220	269	489	30.560
	C	15	6	3°	284	298	122	704	82.820
	H	22	6	C.F.	1.439	570	183	2.192	317.640
Total					1.723	1.088	574	3.385	431.020
2014	F	21	3	C.F.	590	440	90	1.120	149.400
	G	22	5	C.F.	1.278	834	150	2.262	311.100
	Total					1.868	1.274	240	3.382
2015	E	20	6	C.F.	1.278	834	150	2.262	311.100
	J	27	2	C.F.	620	240	70	930	136.000
	Total					1.898	1.074	220	3.192
2016	D	20	8	C.F.	1.650	861	187	2.698	381.970
	J	28	1	C.F.	320	125	40	485	70.450
	Total					1.970	986	227	3.183
2017	F	24	4	C.F.	840	556	94	1.490	205.000
	G	25	4	C.F.	990	450	132	1.572	223.980
	Total					1.760	1.192	194	3.146

* C.F. = colheita final

Os talhões A, B e C não foram planejados para corte final no período. Apenas 50 % dos talhões F e I foram colhidos. Assim, 35 ha ficaram para a colheita final após o horizonte considerado de 10 anos.

A sustentabilidade da produção (Figura 11) pode proporcionar várias vantagens ao produtor, tais como conseguir contratos de fornecimento com cotas fixas aos clientes, manutenção e otimização da estrutura operacional de implantação, condução e colheita das florestas. A renda anual média com a venda da madeira em pé será de R\$ 431.000,00 ou R\$ 4.310,00/ha.

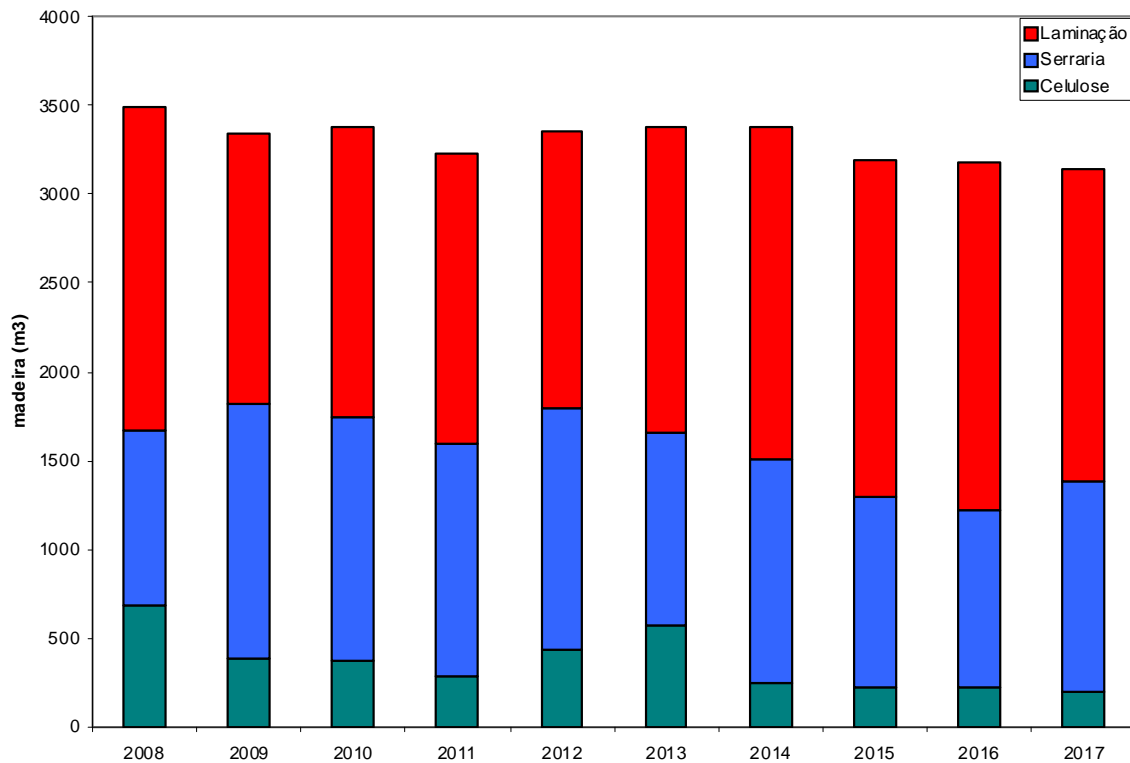


Figura 11. Estimativa da produção, sortida por destinação das toras, por 10 anos, em 100 ha de *P. taeda*.

Manejo Integrado de Pragas em *Pinus*

Edson Tadeu Iede, Wilson Reis Filho, Susete do Rocio Chiarello Penteado,
Nádia Caldato

1. Introdução

O aumento da demanda de madeira para geração de energia e para processamentos industriais exige o florestamento com diferentes espécies florestais, visando atender os vários segmentos industriais. Na Região Sul do Brasil, as espécies mais plantadas para atender essas demandas são do gênero *Pinus*. A constante busca pela eficiência produtiva e pela maior rentabilidade nesses plantios, invariavelmente, redundam em simplificação do ambiente e isto tende a gerar impactos diferenciados sobre a entomofauna. Os insetos fitófagos são favorecidos pela maior disponibilidade de alimento e pela redução da resistência ambiental, face à ausência de inimigos naturais. Nesses ambientes modificados, os inimigos naturais não encontram condições favoráveis, como a presença de hospedeiros alternativos e/ou intermediários, para se estabelecerem.

O aumento de áreas com plantios florestais monoespecíficos favorece o aparecimento e a dispersão de várias pragas que se tornam causadoras de danos nos povoamentos florestais. Esse aspecto tem despertado o setor florestal para a necessidade de programas racionais e econômicos de controle de pragas (IEDE et al., 1998b). O

conhecimento dos fatores que agem no ecossistema é um requisito imprescindível para resolver esses problemas, com o mínimo de impactos ambientais. Uma das estratégias preferidas é conhecida como Manejo Integrado de Pragas (MIP), proposta há aproximadamente 30 anos. Num programa de MIP, todos os métodos de controle têm seu espaço e importância. Entretanto, quando se trata de plantios florestais, o uso de produtos químicos apresenta sérias restrições, podendo ser adotado apenas como último recurso. Os métodos de controle biológico, físicos, silviculturais, mecânicos e biotécnicos são os que apresentam potencial de integração.

A execução de um programa de MIP requer, inicialmente, um sistema de monitoramento para a detecção precoce dos surtos e determinação da distribuição geográfica, assim como para a avaliação da densidade populacional da praga e da efetividade das medidas de controle. Um sistema de controle deve ser suficientemente preciso, sensível e capaz de acusar variações na densidade populacional da praga. Essa capacidade é essencial para fornecer os elementos requeridos na tomada de decisão quanto ao momento em que se devem utilizar diferentes métodos de controle, visando evitar perdas econômicas.

O uso de produtos fitossanitários no MIP está condicionado à disponibilidade de inseticidas de baixa toxicidade ao homem e aos animais. Além disso, eles não devem causar mais do que um baixo impacto ambiental, nem gerar subprodutos tóxicos. No MIP, o controle biológico se destaca como uma das táticas mais recomendadas para manter as pragas em baixos níveis populacionais e, também, pela fácil harmonização com outros métodos de controle e a baixa probabilidade de causar impactos ambientais.

2. Principais Pragas de *Pinus* no Brasil

Dos 1,84 milhão de ha plantados com *Pinus*, no Brasil, 57 % encontram-se na Região Sul, basicamente com as espécies *P. taeda* e *P. elliottii* (SBS, 2007). O limitado número de espécies usadas nos plantios, a alta densidade populacional e a falta de manejo adequado dos povoamentos florestais têm propiciado condições ideais para o aparecimento de surtos de pragas.

O fator que despertou preocupação do setor florestal brasileiro quanto à prevenção e ao monitoramento de pragas nos povoamentos de *Pinus* foi a constatação da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*), em 1988, no Estado do Rio Grande do Sul. Atualmente, essa praga está presente em aproximadamente 350 mil ha de povoamentos de *Pinus* spp. localizados nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (IEDE et al., 1988; 1998a).

Na década de 1990, várias outras pragas importantes foram introduzidas e constatadas nos plantios florestais brasileiros. Entre elas, os pulgões-gigantes-do-pínus *Cinara pinivora* e *C. atlantica* (Hemiptera: Aphididae), que foram detectados, respectivamente, em 1996 e 1998 (IEDE et al., 1998a; LAZZARI; ZONTA-

DE-CARVALHO, 2000). Seu controle vem sendo efetivado mediante programas de MIP, com ênfase no controle biológico. As espécies *Pissodes castaneus* (Coleoptera: Curculionidae), denominado de gorgulho-do-pínus, introduzido em 2001, e *Pineus boernerii* (Hemiptera: Adelgidae), introduzido em 2003 (PENTEADO et al., 2004), são pragas com grande potencial de danos em plantios de pínus. Porém, até o momento, os danos causados por essas pragas têm sido pequenos e limitados aos povoamentos submetidos a estresse por falta de manejo (IEDE, 2003). Lepidópteros desfolhadores nativos como *Eacles ducalis*, *Melanolophia apicallis*, *Pherothesia confusata*, *Glena bipennaria bipennaria* e algumas pragas de solo, como o besouro *Diloboderus abderus* (Scarabaeidae), causam surtos esporádicos.

As formigas cortadeiras são pragas constantes em plantios florestais. Na Região Sul, predominam as quenquéns (*Acromyrmex* spp.) e, nas demais regiões do país, as saúvas (*Atta* spp.).

2.1. Vespa-da-madeira

A vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) é uma praga de origem eurásiana que, no Brasil, foi registrada, pela primeira vez, em 1988, no Estado do Rio Grande do Sul (IEDE et al., 1988). Posteriormente, ela foi constatada em Santa Catarina (1989), no Paraná (1996), em São Paulo (2004) e em Minas Gerais (2006). Nas suas regiões de origem (Europa, Ásia e Norte da África), ela é considerada uma praga secundária. Porém, nos países onde foi introduzida, como na Nova Zelândia, Austrália, Uruguai, Argentina, Brasil, África do Sul e, mais recentemente, no Chile, tornou-se a principal praga nos povoamentos de pínus (IEDE et al., 1988) (Figura 1).



Figura 1. Árvores de *Pinus taeda* atacadas pela vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*).
Foto: Edson Tadeu Iede.

Face à ameaça que a vespa-da-madeira representa para o patrimônio florestal brasileiro, foi criado, em 1989, o Fundo Nacional de Controle à Vespa-da-Madeira (FUNCEMA), mediante a integração da iniciativa privada com órgãos públicos, tendo como objetivo dar suporte ao Programa Nacional de Controle à Vespa-da-Madeira (PNCVM). Esse programa contemplou intensas atividades de pesquisa, visando à geração e à adaptação de tecnologias de controle. Na sua fase inicial, foi priorizado o controle biológico, pela introdução, criação massal e liberação do nematóide *Deladenus (Beddingia) siricidicola*.

O uso do nematóide tem sido a medida mais eficaz para o controle da vespa-da-madeira.

Esse inimigo natural é um parasita que, após infestar a fêmea da vespa, torna-a estéril e, ao mesmo tempo, transforma-a em uma disseminadora de mais nematóides em seu ato de oviposição nos troncos do pínus. Além disso, a constatação do parasitóide *Ibalia leucospoides* (Hymenoptera: Ibalidae) e a introdução dos parasitóides *Rhyssa persuasoria* e *Megarhyssa nortoni* (Hymenoptera: Ichneumonidae), da Austrália, associadas ao manejo apropriado dos povoamentos florestais, têm possibilitado um controle efetivo desta praga.

O PNCVM contempla, ainda, o monitoramento para a detecção precoce e o controle da dispersão da vespa-da-madeira com uso de árvores-armadilha. Estas são

árvores submetidas ao estressamento, mediante aplicação de herbicidas, a fim de atrair os insetos.

Medidas de prevenção são enfatizadas no PNCVM, especialmente quanto ao manejo das áreas, com a aplicação de desbastes em intensidades e periodicidades apropriadas, visando melhorar as condições fitossanitárias e, assim, minimizar o ataque da vespa. Outra linha de ação é a adoção de medidas quarentenárias, visando ao controle e ao retardamento da dispersão da praga.

Uma das atividades de maior destaque no PNCVM refere-se ao treinamento dos componentes da equipe técnica, bem como à ampla divulgação do programa de controle, por meio de palestras e cursos destinados aos produtores e técnicos da comunidade, visando atingir todas as áreas plantadas com pinus. Nesse programa, além dos órgãos públicos, estão envolvidas mais de uma centena de empresas que adotaram a tecnologia de manejo intergrado (IEDE et al., 1998a).

2.1.1. Características morfológicas

Os adultos da vespa-da-madeira apresentam diferenças acentuadas entre machos e fêmeas. Os machos são de coloração azul metálica, com asas, abdome (do terceiro ao sétimo segmentos), fronte e pernas, anteriores e medianas, de coloração alaranjada; suas patas posteriores são negras. As fêmeas apresentam coloração azul escura metálica, com as pernas e asas de coloração âmbar. O ovipositor é protegido por uma bainha e se apresenta como uma projeção na extremidade do abdome.

Os ovos da vespa-da-madeira são alongados, de coloração branca e superfície

lisa. Durante a postura, a vespa pode realizar perfurações, simples ou múltiplas, com profundidade média de 12 mm, no alburno dos troncos de pinus.

As larvas, de ambos os sexos (Figura 2), apresentam um espinho supra-anal proeminente (cerco) que é utilizado para comprimir o "frass" (massa constituída pela mistura de serragem, fezes e excreções do inseto) durante a sua atividade alimentar. Elas são de formato cilíndrico, dotadas de vestígios de pernas torácicas e sua coloração, em geral, é creme. Suas mandíbulas são fortes e denteadas. As pupas são brancas, do tipo exarata (com apêndices livres – por exemplo, patas e antenas – que não permanecem "colados" ao corpo), e apresentam um tegumento fino e transparente que se torna escurecido na época próxima à sua transformação em adultos.

2.1.2. Biologia e ecologia

Os adultos da vespa-da-madeira começam a emergir do interior do tronco do pinus, geralmente, no período compreendido entre a primavera (outubro) até o princípio do verão (janeiro), com picos populacionais entre novembro e dezembro. Entretanto, podem ocorrer variações devido a diferenças nas condições climáticas. Uma pequena parte da população (2 % a 3 %) apresenta um segundo período de emergência que pode ocorrer no outono (entre março e maio), dando origem a insetos com ciclo de vida curto. Normalmente, os machos emergem antes das fêmeas e ficam aglomerados nos ramos superiores das árvores. É nesse local, aonde as fêmeas emergentes se dirigirem, que ocorre o acasalamento.



Figura 2. Larva da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*). Foto: Arquivo *Embrapa Florestas*.

Durante a postura, além dos ovos, a fêmea da vespa introduz na árvore uma muco-secreção fitotóxica, oriunda da glândula localizada na base do ovipositor, juntamente com esporos de um fungo simbiote (*Amylostereum areolatum*), também armazenado no interior do seu corpo. Este fungo, quando espalhado no interior do tronco do pínus, obstrui os vasos de seiva; a muco-secreção provoca mudanças fisiológicas rápidas no metabolismo da árvore, afetando a respiração, a transpiração, a fotossíntese e a divisão celular, levando-a à morte. A ação combinada do muco fitotóxico e do crescimento do fungo cria um "habitat" propício para o desenvolvimento das larvas da vespa-da-madeira, em crescimento no interior do tronco.

Cada fêmea da vespa (Figura 3) põe, em média, 226 ovos. Os insetos maiores chegam a pôr entre 300 e 500 ovos. As vespas fêmeas, na fase adulta, vivem aproximadamente quatro dias e, os machos, cinco. O período de incubação (da postura dos ovos até a emergência dos adultos) pode durar de 14 a 28 dias.

Logo após a eclosão, a larva passa a se alimentar e, nesse processo, constrói galerias próximas aos locais da postura. No terceiro ou no quarto ínstar, elas estendem as galerias para as partes mais internas do tronco. No período pré-pupal, a larva dirige-se para próximo à periferia do tronco e, geralmente após três semanas, emergem na forma de adultos. No Brasil, 97 % da população da

vespa-da-madeira completa o seu desenvolvimento no período de um ano. Porém, foram observados, também, ciclos

curtos de três a quatro meses, em troncos ou em ponteiros de árvores com diâmetro entre 5 cm e 15 cm.



Figura 3. Forma adulta da fêmea da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*).
Foto: Wilson Reis Filho.

2.1.3. Danos e importância econômica

Os principais danos provocados pela vespa-da-madeira são as perfurações no tronco, ocasionadas pelas larvas e adultos. O tronco

atacado apresenta deterioração na madeira devido à ação do fungo *A. areolatum* e a entrada de patógenos secundários da madeira, como fungos do gênero *Botryodiplodia* (Figura 4).

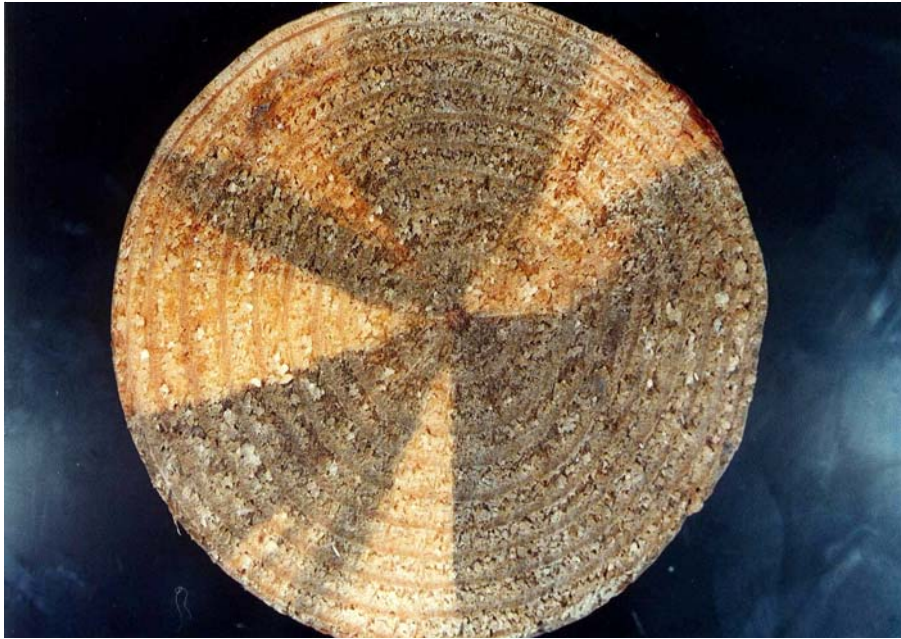


Figura 4. Seção transversal de uma tora de pínus com sinais de ataque do fungo *Botryodiplodia*. Foto: Arquivo *Embrapa Florestas*.

Os sintomas externos mais visíveis de ataque da vespa-da-madeira se expressam na forma de um progressivo amarelecimento da copa até atingir a coloração marrom-avermelhada. As árvores atacadas apresentam copa sem vitalidade, com perda de acículas. Nos locais de postura dos ovos, ocorrem respingos ou escorrimento de resina pela casca e, nos locais de emergência, são observados orifícios de diâmetro equivalente ao diâmetro do corpo dos insetos adultos (Figura 5).



Figura 5. Orifícios de emergência da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) do tronco de pínus. Foto: Arquivo *Embrapa Florestas*.

Os sintomas internos incluem a presença de manchas marrons na região do câmbio (tecido localizado logo abaixo da casca), causadas pelo fungo *A. areolatum*, a presença de galerias e a penetração de agentes secundários, que comprometem a qualidade da madeira, limitando o seu uso ou tornando-a imprópria para o mercado.

Na Nova Zelândia, a vespa-da-madeira causou perdas estimadas em 30 % das árvores em 120 mil ha de plantios de *Pinus radiata*. Na Tasmânia (Austrália), no final da década de 1950, foram perdidas, aproximadamente, 40 % das árvores. Em toda a Austrália, foram estimados prejuízos econômicos da ordem de oito milhões de dólares, em decorrência da perda de cinco milhões de árvores após ataques da vespa-da-madeira, ocorridos no período de 1987 a 1989. No Uruguai, da mesma forma que na Argentina e no Brasil, a vespa-da-madeira provocou mortalidade de até 60 % das árvores em algumas plantações de pínus. No Brasil, a vespa-da-madeira está presente em 350 mil ha de pínus e, considerando-se perdas médias de 5 árvores/ha.ano, atribuíveis ao seu ataque, estimam-se perdas econômicas da ordem de R\$ 42 milhões anuais. Entretanto, dada à efetividade das ações do PNCVM, as perdas estão reduzidas a 30 % dessas estimativas.

2.1.4. Monitoramento

Vários fatores contribuem para que uma árvore se torne atrativa e apresente as condições propícias para o ataque e desenvolvimento da vespa-da-madeira. Esta atração decorre da liberação de hidrocarbonetos (monoterpenos) pela casca da árvore. Esses compostos são originários do floema ou do câmbio de plantas que se encontram estressadas. Nessas

circunstâncias, as árvores apresentam declínio na pressão osmótica e paralisação temporária do crescimento. As árvores mais suscetíveis ao ataque da vespa-da-madeira são as dominadas e de menor diâmetro no povoamento, embora tenham sido constatados, também, ataques em algumas árvores dominantes.

Os povoamentos de pínus mais suscetíveis são aqueles com alta densidade, com desbastes atrasados, idade entre 10 e 25 anos e localizados em sítios de baixa qualidade. Povoamentos que tenham sofrido danos de natureza biótica ou abiótica são considerados de alto risco, sobretudo se estiverem localizados próximos às áreas infestadas. Os locais onde é mais provável a constatação da vespa-da-madeira são junto às áreas de circulação de cargas de madeira, provenientes de regiões infestadas, e nas proximidades de depósitos de embalagens de madeira e de indústrias de processamento mecânico da madeira.

2.1.4.1. Utilização de árvores-armadilha

Visto que a vespa-da-madeira é atraída, preferencialmente, para as árvores debilitadas, o estressamento artificial de algumas delas torna-as alvos preferenciais dessa praga, permitindo, assim, a sua detecção precoce. Essas são as chamadas "árvores-armadilha", que são estressadas mediante anelamento ou pela aplicação de herbicida, como o "Padron" ou o "Tordon", na concentração de 10 %. Essa é uma técnica muito eficiente que vem sendo utilizada com sucesso, em vários países, para confirmar a presença e monitorar o ataque dessa praga em povoamentos de pínus.

As árvores-armadilha devem ser instaladas em locais de maior risco (locais de maior

probabilidade de constatação) e de fácil acesso, procurando cobrir toda a área do povoamento, tais como:

a) próximos aos plantios, bosquetes ou cortinas quebra-ventos;

b) próximos às bordas dos povoamentos para facilitar a inspeção e a derrubada das árvores – considerar, também, a possível direção de dispersão da praga (direção dos ventos, intensidade e direção do transporte de madeira ou de outras mercadorias em embalagens de madeira);

c) em áreas onde já tenha sido constatada a presença da vespa-da-madeira, instalar grupos de cinco árvores-armadilha a cada 500 m em locais até 10 km do foco do ataque;

d) em áreas localizadas entre 11 km e 50 km do foco do ataque, os grupos de árvores-armadilha deverão ser instalados a cada 1.000 m;

e) nas áreas localizadas a mais de 50 km do foco, sobretudo em áreas de fronteira interestadual ou internacional, os grupos de árvores-armadilha deverão ser instalados a cada 10 km.

As árvores-armadilha devem ser instaladas dois meses antes do pico populacional dos adultos da vespa-da-madeira. No Brasil, esse pico ocorre, geralmente, entre os meses de novembro e dezembro. Para a instalação dos grupos de árvores-armadilha, deverão ser adotadas as seguintes recomendações:

a) decidir, antecipadamente, o local e o número de grupos que deverão ser instalados;

b) os grupos de árvores-armadilha deverão ser de cinco árvores vivas, de preferência, com

DAP (diâmetro do tronco a 1,3 m de altura) entre 10 cm e 20 cm;

c) em povoamentos não desbastados, o grupo de árvores-armadilha deve ser formado por árvores dispostas em linha; em povoamentos desbastados, as árvores do grupo podem ser dispersas;

d) identificar cada árvore com o número do seu grupo;

e) aplicar o herbicida, observando-se os seguintes detalhes:

- retirar os ramos da parte inferior para facilitar a operação;

- fazer um entalhe, com uma machadinha, num ângulo de aproximadamente 45° e injetar o herbicida com uma seringa;

- em árvores com DAP menor que 30 cm, aplicar uma dose para cada 10 cm de circunferência; em árvores com DAP maior que 30 cm, aplicar uma dose para cada 8 cm de circunferência;

- registrar a data da aplicação, o local de instalação das árvores-armadilha, o DAP da árvore e outros detalhes julgados importantes.

A detecção precoce do ataque da vespa-da-madeira é um fator muito importante, pois possibilita a adoção das medidas de controle como a liberação de inimigos naturais, antes que a população da praga ocasione danos econômicos. O ideal é detectá-lo antes que tenha causado mortalidade de 0,1 % das árvores. Isto seria equivalente a uma ou duas árvores atacadas por hectare, em um povoamento não desbastado. Os grupos de árvores-armadilha deverão ser revisados dois a quatro meses após os picos de emergência

dos adultos, para verificar a presença do inseto. Durante esse período, deverão ser realizadas inspeções, observando-se os seguintes sintomas:

- presença de respingos e/ou escorrimento de resina no tronco;
- presença de manchas marrom-alaranjadas, produzidas pelo fungo simbiote, abaixo da casca, próximas às perfurações feitas pela vespa-da-madeira para a postura dos ovos – essas manchas, normalmente, dão uma indicação da presença da vespa, embora, algumas vezes, a sua detecção seja difícil.

2.1.4.2. Avaliação da infestação

Uma vez confirmado o sintoma de ataque da vespa-da-madeira, a árvore deverá ser derrubada para inspeção, verificando-se a presença de galerias e larvas no interior do tronco. De cada árvore atacada, deverão ser tomadas, no mínimo, cinco amostras (segmentos do tronco com 1 m de comprimento), retirando:

- uma do terço inferior da árvore, a 2 m de altura;
- três do terço médio, distanciadas de 1 m entre elas;
- uma da metade do terço superior.

As amostras deverão ser seccionadas em segmentos de 25 cm de comprimento e

divididas, longitudinalmente, em pelo menos oito partes. Cada uma dessas deverá ser minuciosamente inspecionada, anotando-se a presença, a extensão e o diâmetro das galerias e, especialmente, a presença de serragem compactada em seu interior. Deve-se observar, também, a presença de orifícios de emergência dos adultos e sua coloração. A coloração creme (amarela-clara) indica que esses orifícios são da emergência ocorrida no ano corrente; a coloração acinzentada indica que são de emergências de anos anteriores.

2.1.4.3. Amostragem para estimar a intensidade de infestação - amostragem seqüencial

A identificação da área infestada e o monitoramento da disseminação da vespa-da-madeira são atividades essenciais em um programa de controle desse inseto. Isto deve ser feito segundo uma metodologia amostral que leve em conta a grande extensão dos povoamentos de pinus, os níveis de ataque da praga, a aplicabilidade do método e os custos da atividade. A metodologia recomendada para esses casos é conhecida como amostragem seqüencial (Tabela 1), que é dimensionada no campo, em função dos níveis de ataque (PENTEADO et al., 2002). Com esse método, evita-se a baixa precisão que ocorreria em caso de amostras insuficientes, bem como desperdício de recursos com amostragens excessivas.

Tabela 1. Amostragem seqüencial para determinar a proporção de árvores infestadas pela vespa-da-madeira em povoamentos de *Pinus* spp.

Número de Árvores	
Amostradas	Mínimo para *Atacadas interromper a amostragem
68	34
74	36
80	37
87	38
94	39
102	41
111	42
121	44
132	45
145	46
159	48
175	49
194	50
215	52
241	53
272	54
272	*

* Neste ponto, interromper a amostragem, independentemente do número de árvores atacadas encontradas na amostra.

Para a amostragem da infestação da vespa-da-madeira, recomendam-se os seguintes procedimentos:

- iniciar com a amostragem de um mínimo de 68 árvores;

- anotar, na segunda coluna da tabela, o número de árvores atacadas da amostra e comparar com o número crítico de árvores, da terceira coluna - neste caso, 34;

- se o número de árvores atacadas na amostra for igual ou maior que 34, considera-se a amostragem completa;

- se o número de árvores atacadas for menor que 34, deve-se continuar o processo de amostragem, incluindo mais seis árvores para totalizar 74 árvores amostradas;

- se o número de árvores atacadas for 36 ou mais, interromper a amostragem;

- se o número de árvores atacadas for menor que 36, prosseguir a amostragem, até que seja obtido o número de árvores atacadas requerido na terceira coluna da tabela;

- quando atingir 272 árvores amostradas, deve-se interromper a amostragem e utilizar, para o cálculo da intensidade de infestação, o número de árvores atacadas encontradas na amostra;

- o percentual de árvores atacadas é calculado usando-se a expressão:

$$\% \text{ de ataque} = (\text{N}^\circ \text{ de árvores atacadas} / \text{N}^\circ \text{ de árvores amostradas}) \times 100$$

- tomar uma amostra por talhão, preferencialmente no centro do povoamento;

- a partir de uma árvore inicial, localizada na parte central do povoamento, fazer o caminhamento, avaliando 40 árvores, sistematicamente, ao longo da linha;

- ao final de cada linha, repetir o procedimento na quarta linha seguinte e avaliar mais 40 árvores e, assim, sucessivamente, até atingir

o número mínimo requerido (terceira coluna da Tabela 1);

- no caso de talhões com mais de 10 ha, a retomada das avaliações deverá ser feita a cada oitava linha;

- se o talhão apresentar grande variabilidade, deve-se realizar pelo menos uma amostragem adicional e a frequência de árvores atacadas deverá ser expressa em porcentagem em relação ao número de árvores avaliadas.

A época recomendada para a amostragem é o período compreendido entre o final do verão e o início do outono. Isto porque o ataque da vespa-da-madeira, no Brasil, tem sido observado desde meados da primavera até o início do verão. Assim, a partir do final do verão, grande parte das árvores que tenham sido atacadas já estariam apresentando os sintomas. A vantagem da amostragem nesse período é a possibilidade de se estimar não só o nível de ataque, mas, também, o número de árvores que devem ser tratadas com os agentes de controle biológico.

Para verificar a variação na densidade populacional da vespa-da-madeira nos povoamentos de pínus, recomenda-se:

- entre os meses de setembro e início de outubro (no Brasil), coletar amostras de pelo menos três árvores atacadas, com DAP em torno de 20 cm, para cada 20 ha de povoamento;

- do terço médio do fuste de cada árvore, retirar três toretes de 80 cm de comprimento;

- caso haja limitação de espaço para o armazenamento dos toretes, poderão ser retiradas amostras de apenas um torete por

árvore, aumentando-se para cinco o número de árvores amostras;

- acondicionar os toretes em tambores de 200 litros ou em gaiolas, identificando-os com dados da data e local de coleta;

- no período entre meados da primavera e o final do verão, coletar, semanalmente, os adultos da vespa-da-madeira que emergirem, anotando-se o período da emergência, o sexo e a eventual presença de parasitóides ou nematóides.

2.1.5. Controle da vespa-da-madeira

Árvores sem danos mecânicos, que apresentem crescimento vigoroso, situadas em povoamentos bem manejados, em sítios de boa qualidade, são as menos suscetíveis ao ataque da vespa-da-madeira. Dentro de um mesmo povoamento, a mortalidade atribuída a essa praga é significativamente maior em árvores com menor diâmetro do tronco (DAVIS, 1966). Por outro lado, quanto mais tempo a árvore permanece no povoamento, maior será a probabilidade de ser atacada. Assim, as práticas de manejo, visando à redução dos danos pela vespa-da-madeira, precisam ser direcionadas no sentido de limitar a idade das rotações. Mais importante, ainda, é a adoção de medidas para diversificar a composição, a estrutura etária e a manutenção do alto vigor da floresta.

As práticas silviculturais, quando aplicadas corretamente, podem reduzir, significativamente, os danos causados pelas pragas (DAVIS, 1966). Dentre essas, o desbaste para minimizar a competição entre árvores e, assim, o estresse no seu crescimento, é fundamental. Nesse processo,

todas as árvores dominadas deverão ser removidas e o número das co-dominantes reduzido para que não se tornem dominadas em pouco tempo. O desbaste pode ser visto como uma medida preventiva de alta eficácia, pois, além de resultar na eliminação das árvores mais suscetíveis, proporciona condições para que as remanescentes aumentem o vigor e, assim, a resistência ao ataque da vespa. Porém, o desbaste deve ser realizado em época apropriada. Se for realizado no período de revoada da vespa, poderá resultar em maior suscetibilidade a essa praga.

Na estratégia de MIP em culturas de espécies florestais introduzidas, o controle biológico é um dos métodos mais eficazes para reduzir os danos pelas pragas. Entre os agentes de controle biológico da vespa-da-madeira, destaca-se o nematóide *Deladenus (Beddingia) siricidicola*, que pode parasitar e esterilizar, em média, 70 % das fêmeas. Este nematóide apresenta dois ciclos de vida. Um de vida livre, em que se alimenta do mesmo fungo simbiote (*Amylostereum areolatum*) da vespa-da-madeira e outro, de vida parasitária, que ocorre dentro de larvas, pupas e adultos da vespa. Por apresentar o ciclo de vida livre, ele pode ser facilmente criado em laboratório para posterior liberação no campo. Isto pode ser feito mediante inoculação em árvores atacadas pela vespa (Figura 6) e, com isso, atingir altos níveis de parasitismo em praticamente todas as árvores atacadas pela vespa, no povoamento (BEDDING; AKHURST, 1974).

Os nematóides são criados massalmente em laboratório e enviados ao campo, em doses de 20 ml (cada dose com aproximadamente um milhão de nematóides de 5 mm a 25 mm de comprimento), para inoculação nas árvores



Figura 6. Procedimento para inoculação de nematóides em troncos de pínus para o controle da vespa-da-madeira. Foto: William Ciesla.

atacadas. No campo, eles são misturados, na concentração de 10 %, em uma solução gelatinosa. Usando-se um martelo especial, são feitos orifícios, a cada 30 cm ao longo do tronco do pínus e, com uma seringa, introduz-se, nesses orifícios, a solução gelatinosa com os nematóides. Os nematóides inoculados penetram na madeira em busca de alimento (o fungo) e se reproduzem, dando origem aos nematóides juvenis de vida livre. No entanto, ao encontrar larvas da vespa-da-madeira, esses nematóides se desenvolvem até atingir

a forma adulta infectiva e penetram no corpo das larvas da vespa, deixando uma cicatriz no seu tegumento. Dentro da larva, os nematóides crescem, atingindo até o dobro do seu tamanho juvenil. Quando ocorre a pupação da vespa, há liberação de milhares de nematóides juvenis, que saem do corpo da fêmea do nematóide. Posteriormente, estes juvenis migram para os órgãos reprodutores da vespa e, no caso das fêmeas, os nematóides penetram em todos os ovos e suprimem o desenvolvimento dos ovários, tornando-as estéreis. Nos hospedeiros machos, os testículos tornam-se uma sólida massa de nematóides juvenis. No entanto, os machos permanecem férteis e, no início da pupação do hospedeiro, a maioria dos espermatozoides passa para as vesículas seminais onde os nematóides não conseguem penetrar e, assim, os espermatozoides são normalmente transferidos durante a cópula (BEDDING, 1972). Quando a fêmea adulta da vespa infectada emerge da árvore e faz postura em outras árvores, seus ovos estarão

inférteis e, além disso, poderão conter até 200 nematóides cada (BEDDING; AKHURST, 1974).

Além do nematóide, são utilizados insetos parasitóides para o controle da vespa-da-madeira. Um deles, *Ibalia leucospoides* (Figura 7), foi introduzido juntamente com a vespa e detectado em 1990, em povoamentos de pínus atacados pela vespa, no município de São Francisco de Paula, no Estado do Rio Grande do Sul (CARVALHO, 1993). Atualmente, ele está presente em quase todos os povoamentos de pínus atacados por esta praga, também em Santa Catarina e no Paraná, onde a constatação da vespa foi mais recente. Avaliações nesses povoamentos indicaram níveis de parasitismo de até 39 %, com média de 25 %. Ele é um endoparasitóide de ovos e larvas de primeiro e segundo instares, que é atraído para os orifícios de oviposição da vespa-da-madeira, quando o fungo *Amylostereum areolatum* inicia o seu crescimento na madeira (MADDEN, 1968; SPRADBERY; KIRK, 1978).



Figura 7. Forma adulta do parasitóide *Ibalia leucospoides*. Foto: Wilson Reis Filho.

As outras espécies de parasitóides utilizadas no controle de *S. noctilio* são *Rhyssa persuasoria* e *Megarhyssa nortoni*. Esses são originários da Tasmânia e foram introduzidos no Brasil entre 1996 e 2003. Porém, o seu estabelecimento no Brasil ainda não foi confirmado. Por serem dotados de um longo ovipositor, estas espécies conseguem atacar larvas da vespa em estágios avançados de desenvolvimento, que se localizam na parte interna do tronco (TAYLOR, 1976). Estes parasitóides introduzem o ovipositor na madeira à procura das larvas hospedeiras, paralisando-as com a picada do ovipositor e depositam seus ovos sobre o corpo do hospedeiro. Após a eclosão, a larva do parasitóide alimenta-se do corpo do hospedeiro até se transformar em pupa (HOCKING, 1968). A maioria dos membros de cada geração destes parasitóides entra em diapausa no estágio larval. Quando estiverem completamente alimentados, a larva hospedeira se dirige em direção à casca da árvore para empupar na primavera seguinte. Aquelas que não entram em diapausa empupam, imediatamente, para emergir no início do verão (TAYLOR, 1976).

Ibalia leucospoides pode se dispersar, rapidamente, por distâncias de até 80 km e, quando chega a novas áreas, reproduz-se intensamente (TAYLOR, 1967). Foi observado também, que, em locais secos, esta espécie é mais eficiente do que os demais parasitóides. As distâncias de dispersão de *Rhyssa* spp. e *Megarhyssa* spp. foram estimadas em 7 km e 18 km, respectivamente, a partir do ponto de liberação.

Potencialmente, o complexo de parasitóides (*Ibalia*, *Rhyssa* e *Megarhyssa*) pode eliminar até 70 % da população da vespa-da-madeira, em determinados locais (NUTTALL, 1980). Porém, usualmente, sua ação não atinge mais do que

40 % da população. Isso não é suficiente para prevenir ataques da vespa-da-madeira em níveis elevados, mas é importante para manter o equilíbrio ecossistema/praga.

2.1.5.1. Medidas adicionais de controle

No programa de vigilância florestal, uma medida essencial para o controle da vespa-da-madeira é a instalação de barreiras fitossanitárias. Essas devem ser instaladas junto às fronteiras interestaduais ou internacionais, bem como nas proximidades de estradas com fluxo intenso de madeira e de povoamentos de alto risco. Além disso, outras atividades essenciais para o controle desta praga são a capacitação de operários (principalmente aqueles que atuam na colheita, transporte e desdobro de madeira de pínus) para a detecção de sinais de ataque da vespa-da-madeira. Uma vez confirmada a presença dessa praga, as equipes de controle devem ser prontamente notificadas. Também é importante a intensificação das inspeções, principalmente em bosquetes e cortinas quebra-vento que, normalmente, não recebem os mesmos tratamentos silviculturais dedicados aos plantios de grandes extensões.

2.2. Pulgões-gigantes-do-pínus

Os pulgões-gigantes-do-pínus (afídeos) são insetos do gênero *Cinara* (Homoptera: Aphididae), conhecidos também como afídeos gigantes das coníferas (CIESLA, 1991). Estes constituem o que se considera um grupo primitivo, devido às seguintes características: grande tamanho (2 mm a 7 mm), venação completa das asas, corpo muito pubescente, vestígios de um terceiro segmento tarsal, quarto e quinto segmentos do estilete bem definidos, olhos compostos (EASTOP, 1972).

O sucesso dos afídeos como praga deve-se aos fatores como: a) alta fecundidade; b) polimorfismo entre indivíduos, com a presença de formas ápteras e aladas (PEÑA-MARTINEZ; MUNIZ, 1991); c) forma de reprodução que pode ser por partenogenia, geralmente em regiões tropicais e subtropicais, dando origem apenas a fêmeas vivíparas e, em regiões temperadas, reprodução bissexuada, dando origem a machos e fêmeas ovíparas (CARVER et al., 1991). Algumas espécies do gênero *Cinara*, que atacam as coníferas nos Estados Unidos, são grandes, levemente cobertos por uma camada de pó de cera, dotadas de patas longas e assemelhadas a aranhas. Elas se alimentam das plantas, formando grandes colônias no caule das coníferas (JOHNSON; LION, 1976) e são encontradas, muitas vezes, associadas a formigas que se alimentam do *honeydew* (substância açucarada produzida pelos afídeos). As árvores afetadas ficam, freqüentemente, enegrecidas, devido à fumagina (fungo de coloração escura que se desenvolve sobre o *honeydew*). Estes insetos são facilmente transportados pelo vento ou juntamente com as mudas. É dessa forma que algumas espécies foram introduzidas e se tornaram pragas em áreas onde povoamentos de coníferas estão estabelecidos. A espécie mais importante, que ataca os pinus no sul dos Estados Unidos é *Cinara atlantica* (JOHNSON; LION, 1976).

Na América do Sul, o gênero *Cinara* foi detectado, pela primeira vez, em *Cupressus lusitanica*, na Colômbia, em 1973. Ele foi, inicialmente, identificado como *C. fresai* e, posteriormente, reconhecido como *C. cupressi* (MILLS, 1990). No Brasil, foram introduzidas as espécies *C. cupressi*, *C. fresai*, *C. piniformosana*, *C. thujafilina*, *C. atlantica* e *C.*

pinivora. Estas duas últimas se destacaram como as mais prejudiciais aos povoamentos de pinus. *C. pinivora* e *C. atlantica* foram constatadas, pela primeira vez no Brasil, em 1996 (IEDE et al, 1998a) e 1998 (LAZZARI; ZONTA-DE-CARVALHO, 2000), respectivamente, atacando povoamentos de *P. taeda* e *P. elliotii*. Estes afídeos, que são originários dos Estados Unidos e do Canadá, foram introduzidos, acidentalmente, em nosso país, e se encontram amplamente distribuídos nas regiões Sul e Sudeste.

2.2.1. Características dos pulgões-gigantes-dos-pinus

Os pulgões *Cinara atlantica* e *C. pinivora*, embora similares, apresentam características distintas. A mais marcante é a forma dos sífúnculos (estruturas de coloração escura, localizadas na região postero-superior do abdomen, uma em cada lado do corpo). Em *C. pinivora*, o sífúnculo apresenta uma base menor que em *C. atlantica*, com formato à assemelhança de um cone, e pernas com áreas claras extensas. Em *C. atlantica*, o sífúnculo é mais achatado, com a base mais larga, e pernas mais escuras do que em *C. pinivora*. A diferenciação dos sífúnculos é mais facilmente visível em insetos adultos, tanto alados quanto ápteros. Porém, o tamanho dos indivíduos, as medidas das estruturas do corpo e a coloração geral são extremamente variáveis (PEPPER; TISSOT, 1973).

2.2.2. Biologia e ecologia

Para a sua alimentação, os afídeos inserem o seu estilete na planta até atingir o floema. Este é um processo demorado que pode levar de 25 minutos a 24 horas. A seiva do floema é rica em açúcares e pobre em aminoácidos.

Assim, eles necessitam ingerir uma grande quantidade de seiva para obter a quantidade de aminoácidos necessária à sua sobrevivência. Eles ingerem, também, uma grande quantidade de açúcares, que é eliminada na forma de *honeydew*. Este é utilizado como alimento por muitas espécies de insetos e fungos.

Os afídeos, tipicamente, têm várias gerações anuais, em grande parte, partenogenéticas. Usualmente, a última geração da temporada é sexuada. Entretanto, no Brasil, não se tem

observado, ainda, geração sexuada em afídeos do gênero *Cinara*.

Em regiões de clima temperado, os afídeos passam o inverno no estágio de ovo sobre as acículas ou casca do pínus. Durante a geração de verão, as fêmeas produzem ninfas por partenogênese. A maioria das espécies de *Cinara* alimenta-se em colônias, usualmente em brotos e ramos (Figura 8) e, ocasionalmente, nas raízes de seus hospedeiros.



Figura 8. Colônia de pulgão (*Cinara atlantica*) em um ramo de pínus.
Foto: Susete do Rocio Chiarello Penteadó.

Todas as espécies de *Cinara* alimentam-se de coníferas. A maioria se alimenta das partes dos ramos e brotos, mas, também do caule e das raízes. Infestações altas desse inseto causam amarelecimento da folhagem e redução no crescimento, especialmente em árvores jovens (FURNISS; CAROLIN, 1977). Em locais onde há alternância de períodos úmidos e secos, as colônias de *Cinara* tendem a ser mais abundantes e causar danos durante a estação seca (CIESLA, 1991).

Alterações nas condições nutricionais da planta hospedeira podem causar diferentes reações nos afídeos que se alimentam dela (CARTER; WATSON, 1991). Mudanças sazonais no hospedeiro, também, influenciam o tamanho dos afídeos. Insetos adultos criados em acículas maduras, em laboratório, são consideravelmente menores que os criados em brotos de plantas em crescimento (KIDD; TOZER, 1984). Presumivelmente, trocas químicas contribuem para a variação no crescimento e desenvolvimento dos afídeos. Porém, isso ainda não está esclarecido, pois não se conhecem sequer os componentes químicos de maior importância no processo (KIDD; TOZER, 1984; KIDD, 1988).

A performance dos afídeos tem sido mais freqüentemente interpretada em relação à qualidade nutricional da seiva do floema que tem, em sua constituição, aminas, amidas, aminoácidos e proteínas. Porém, outras substâncias como os aleloquímicos, também, podem ser importantes (KIDD; TOZER, 1984; KIDD, 1988).

O ritmo de crescimento e a fecundidade dos afídeos podem ser, significativamente, variados entre as encontradas em árvores distintas, mesmo da mesma espécie de

conífera (CARTER; WATSON, 1991). Colônias com alto potencial de danos consistem, essencialmente, de fêmeas partenogenéticas que, devido ao curto período de geração, podem responder rapidamente às condições nutricionais proporcionadas pelo hospedeiro.

Os períodos de repouso e de crescimento vegetativo das árvores são, freqüentemente, cíclicos e determinados pelas alternâncias das estações úmidas e secas nos trópicos, ou frias e quentes nas zonas temperadas (CARTER; WATSON, 1991). Insetos sugadores como os afídeos dependem inteiramente dos nutrientes orgânicos solúveis metabolizados pela planta hospedeira. Portanto, os períodos de estresse pelos quais a planta passa, como durante a seca, têm um efeito profundo na fecundidade dos afídeos, podendo levar ao aumento da sua população (MAJOR, 1990). Carboidratos solúveis, resultantes da fotossíntese, são os recursos energéticos dos afídeos e, usualmente, existem em quantidades suficientes nas plantas. Mudanças sazonais na composição dos aminoácidos em coníferas podem afetar, significativamente, o tamanho das populações de alguns afídeos (CARTER; NICHOLS, 1988).

Cinara atlantica e *Essigella pini* são os afídeos predominantes em árvores de *Pinus taeda*, com idade de 9 a 15 anos, na Carolina do Sul, EUA (HOOD; FOX, 1980). A principal diferença entre elas é que *E. pini* se alimenta estritamente nas acículas, enquanto que *C. atlantica* se alimenta, também, nos brotos e em pequenos ramos.

Observações quanto à distribuição de *Cinara* spp. e de *E. pini* em árvores de *Pinus taeda* têm demonstrado maior abundância na parte baixa das copas, no lado leste, em todas

as classes de idade. As densidades populacionais mais baixas têm sido verificadas na porção superior das plantas. Em geral, estes afídeos costumam ser mais abundantes em árvores jovens (PATTI; FOX, 1981a).

Na Carolina do Sul (EUA), os picos populacionais ocorrem entre setembro e março (do outono à primavera) (PATTI; FOX, 1981b). Populações menores têm sido constatadas entre junho e agosto (verão). Nessa região, *Cinara watsoni* tem sido a espécie de afídeo mais abundante, seguida de *C. atlantica*, *C. melaina*, *Essigella pini*, *C. pergandei*, *C. pinivora* e *C. gracilis*.

2.2.3. Danos e importância econômica

Os afídeos, da família Aphididae, são conhecidos por ocorrerem amplamente em coníferas plantadas, em grandes extensões, podendo causar danos severos no crescimento. Quando estão adaptados às condições climáticas locais e encontram oferta abundante de alimentos, eles podem omitir certos estágios do seu ciclo de vida, reduzindo o período total do seu desenvolvimento (CARTER; WATSON, 1991).

Os danos que os afídeos do gênero *Cinara* podem causar são devidos à extração dos nutrientes, à inoculação de toxinas contidas nas secreções salivares ou à multiplicação de fungos causadores da fumagina. Podem-se observar, também, algumas modificações morfológicas na planta, próximas ao local do ataque, na forma de afilamento irregular do tronco, dilatação nodal e rompimento da casca. Todos esses sintomas levam à redução do valor econômico da madeira (KIDD, 1988). Os adultos e as ninfas sugam a seiva do floema da planta hospedeira, causando dessecação desse tecido (KFIR et al., 1985). A infestação

por grandes populações de *Cinara* pode causar a morte dos ramos e até da árvore inteira. Os fungos associados às colônias dos afídeos causam descoloração da folhagem e interferem na troca de gases na fotossíntese.

Quando introduzidas em um novo local, onde não haja inimigos naturais, algumas espécies de *Cinara* tornam-se pragas de importância econômica. Por exemplo, a introdução de *C. cronartii* na África do Sul e *C. cupressi* no leste e sul da África (KFIR et al., 1985) e de *C. atlantica* e *C. pinivora* no Brasil, Uruguai e Argentina. Os ataques mais intensos e com os danos mais significativos são verificados, usualmente, em árvores jovens, tanto no campo quanto nos viveiros.

Em Malawi, verificou-se que os sintomas aparecem na árvore quando as colônias de *C. cupressi* estão se alimentando nos ramos menores da árvore hospedeira. A cada ano, os danos ocorrem com maior severidade durante a estação seca (entre junho e outubro). Isto coincide com o pico populacional desses afídeos. Em decorrência desses ataques, as acículas do pínus tornam-se amarelas e marrons, imediatamente próximas às colônias. Durante as estações de chuva, a população dos afídeos decresce, dando oportunidade às árvores para se recuperarem. Foram observadas, na maioria das árvores atacadas, recuperações completas, duas ou três estações após o ataque (CHILIMA, 1991).

Em povoamentos de *Cupressus lusitanica*, atacados pelos afídeos, o *honeydew* propicia a infestação do fungo *Monochaetia unicornis* que causa o cancro do cipreste. Portanto, o ataque pelos afídeos tem, como consequência, não somente a redução na quantidade de

madeira produzida, mas, também, na sua qualidade, particularmente quando estiver associado à infestação por patógenos (OWINO, 1991).

Perdas financeiras ocorridas em Malawi, devido ao ataque de *C. cupressi* nos povoamentos de ciprestes, foram estimadas em cerca de US\$2,4 milhões, no final de 1990 (ODERA, 1991). No Brasil, estimam-se perdas anuais da ordem de R\$10,7 milhões, somente na Região Sul, caso não estivesse em desenvolvimento o programa de MIP para o controle destes afídeos (RODIGHERI; IEDE, 2004).

2.2.4. Monitoramento e controle

O monitoramento é uma medida essencial para orientar a tomada de decisões num programa de manejo de pragas. A sua principal vantagem é o levantamento de informações precoces sobre a ocorrência de pragas, com antecedência suficiente para que medidas efetivas de controle possam ser tomadas. As atividades de monitoramento de pragas podem ser desdobradas em (CIESLA, 1991):

- detecção da infestação;
- quantificação dos danos;
- análise das flutuações populacionais decorrentes das condições climáticas, ocorrência de inimigos naturais, respostas do hospedeiros e outros;
- quantificação dos efeitos da infestação em termos de impactos ecológicos, sociais e econômicos;
- análise dos efeitos das várias táticas de controle;
- buscas terrestres para detecção e avaliação de populações desses insetos para confirmar

a sua presença em áreas onde eles ainda não tenham sido detectados;

- análise da densidade populacional dos afídeos antes e após a aplicação do tratamento nas áreas onde foi detectado;
- análise dos danos nas árvores para estimar a magnitude das perdas em termos de crescimento e sobrevivência.

Vários métodos têm sido utilizados para monitorar a população de afídeos que atacam árvores, inclusive o uso de armadilhas adesivas e mesmo bandejas coloridas contendo água (WEISS, 1991). Além do uso dessas armadilhas, pode-se, também, remover amostras de ramos da parte mediana ou baixa da copa das árvores hospedeiras para observar a presença dos afídeos. Dados biológicos como o tamanho da colônia, seus estágios de vida e a ocorrência de inimigos naturais podem ser obtidos através deste método. A intensidade de amostragem requerida para a determinação segura da ocorrência da praga pode ser definida por meio de procedimentos estatísticos.

O controle efetivo dos afídeos, assim como de qualquer outra praga, pode ser melhor conduzido dentro de um contexto de MIP (MILLS, 1990). No caso de *Cinara* spp., no Brasil, dado o risco ambiental associado ao controle químico, grande atenção foi dedicada aos métodos de controle biológicos e silviculturais. Porém, isto não implica que pesquisas visando à seleção de ingredientes químicos ativos, para uso emergencial de controle, devam ser ignoradas. O controle químico não deve ser considerado como medida para uso em longo prazo, visto que seu custo é elevado. Além disso, esse método pode ocasionar problemas de contaminação

ambiental e de segurança dos aplicadores. Outro aspecto negativo do controle químico é que ele pode propiciar o aumento na resistência das pragas aos pesticidas químicos.

O controle silvicultural é uma medida que pode ser aplicada de forma tanto gradual quanto repentina, com a utilização de espécies alternativas, plantios multiclonais ou multiespecíficos, bem como da resistência genética das plantas à praga. Outras medidas como a escolha de sítios para o plantio ou para a aplicação dos tratamentos silviculturais emergenciais, também, poderão ser utilizadas. Algumas propostas simples, de caráter silvicultural, envolvendo fatores ecológicos básicos, podem reduzir os problemas causados pelos afídeos (CARTER; WATSON, 1991). Por exemplo, plantas jovens de *Abies* sp., regeneradas naturalmente, sofrem menos danos por *Adelges normanniana* do que em plantios. Normalmente, estes casos estão associados ao estresse hídrico que desregula os aminoácidos, favorecendo o desenvolvimento dos afídeos. Dentre os vários componentes do sistema ecológico, a disponibilidade de água é um dos que podem ser modificados em um sítio específico. Alternativamente, mediante seleção cuidadosa do sítio, poder-se-á evitar problemas de ataque de afídeos.

Considerando que o comportamento dos afídeos varia, direta ou indiretamente, em função das respostas das plantas aos fatores ambientais, é necessário conhecer os componentes ambientais que operam nos locais de origem desta praga, para que se possa desenvolver um sistema eficiente de manejo. Quando as condições fisiológicas das árvores não estão equilibradas, em decorrência de fatores ecológicos desfavoráveis, próximos

ao limite de tolerância, a sua susceptibilidade à colonização por pragas aumenta consideravelmente (FURNISS; CAROLIN, 1977).

Em Ruanda, verificou-se uma relação entre o ataque de *C. cupressi* e a fertilidade do solo. Além disso, constatou-se que o ataque se inicia no interior dos povoamentos, avançando, gradativamente, para a periferia. Algumas árvores apresentaram uma aparente resistência natural e outras se recuperaram após o ataque, geralmente, após o mês de novembro (no verão). A frequência de árvores recuperadas variou de acordo com as condições climáticas e edáficas (CLAUDE; FANSTIN, 1991).

O controle mecânico pode ser realizado com a utilização de armadilhas para a captura dos afídeos e com a aplicação de altos volumes de água para remover os insetos dos ramos das árvores. A sua vantagem é que não provoca danos ambientais. Porém, essa tática tem a desvantagem de não ter sido testada em grande escala. Por ser um procedimento trabalhoso, as armadilhas devem ser utilizadas mais para vigilância do que para o controle propriamente dito.

Em geral, o controle biológico clássico é mais efetivo no caso de pragas exóticas do que das nativas. Isto porque, no caso das pragas nativas, os inimigos naturais específicos já estão presentes no ambiente. Por razões biológicas e econômicas, as pragas que se mantêm em populações moderadamente altas, de maneira constante, são mais passíveis de controle biológico do que as que se escasseiam em um determinado período e retornam em surtos (McCULLOUGH et al., 1998). O fator econômico é

determinante no uso do controle biológico porque é virtualmente impossível prever os custos e a duração dos procedimentos necessários para a conclusão satisfatória do controle.

O controle biológico clássico tem sido visto como uma alternativa de baixo custo ao uso de inseticidas químicos. Ademais, para algumas pragas, ele é a única forma factível de controle. Entretanto, antes da sua implementação, outras formas de manejo populacional da praga precisam ser analisadas. Cada programa de controle biológico tem que ser visto como um experimento novo, a não ser que estratégias semelhantes tenham sido usadas com sucesso em outros países.

Os afídeos da família Lachnidae, que atacam as coníferas, geralmente mantêm uma relação de mutualismo com as formigas que se alimentam do *honeydew* que eles produzem (CZECHOWSKI (1975), citado por KIDD, 1988). As formigas, por sua vez, mantêm as colônias limpas e protegem os afídeos contra seus inimigos naturais como os coccinelídeos, sirfídeos, hemerobiídeos, crisopídeos e heterópteros. Porém, no complexo de inimigos naturais dos afídeos, os parasitóides são a parte mais importante, principalmente devido à especificidade. Os lachnideos são atacados por parasitóides monófagos do gênero *Pauesia*, da família Braconidae (HAGVAR; HOF SVANG, 1991).

Existem muitos casos de sucesso no controle biológico de pragas florestais exóticas (DAHLSTEN; MILLS, 1990). Alguns já são consagrados, como os programas contra

CZECHOWSKI, W. Bionomics of Formica (Coptoformica) pressilabris Nyl. (Hymenoptera: Formicidae). *Ann. Zool.* v. 33, p. 103-125, 1975.

Pineus pini e *P. laevis* em diferentes regiões do mundo. Um surto de *P. pini*, no Havaí, nos anos 1960, foi controlado com sucesso com a introdução de duas espécies da família Chamamiyiidae (*Leucopis obscura*, da Europa, e *L. nigriluna*, do Paquistão). Da mesma forma, *P. laevis* foi controlado com sucesso, na Nova Zelândia, com a introdução de *L. tapiae* e, no Chile, com a introdução de *L. obscura* (ZUNIGA, 1985). *Cinara cronartii* é uma espécie da América do Norte, que foi encontrada infestando povoamentos de pínus na África do Sul, no final dos anos 1970. Essa praga foi controlada com sucesso, com a introdução do parasitóide específico *Pauesia bicolor*, do sudeste dos Estados Unidos (KFIR et al., 1985). Duas espécies de *Pauesia* (*P. cupressobii* e *P. junipterorum*) foram observadas atacando *Cinara juniperi*, que é um afídeo semelhante a *C. cupressi*. Esses parasitóides são considerados específicos do gênero *Cinara*, que se alimentam de plantas da família Cupressaceae. Outro parasitóide (*Aphidus* sp.) foi registrado em *Cinara cupressi* na Alemanha. Porém, ele é, aparentemente, muito atacado por hiperparasitóides.

Em Ruanda, entre os predadores de *C. cupressi*, foram constatados os besouros coccinelídeos *Adalia bipunctata*, *A. 10-punctata* e *A. shymnus*. Foram constatadas, também, espécies do gênero *Syrphus*, da família Sirphidae (Diptera), além de *Chrysophora carnea*, da família Chrysopidae (Neuroptera). Outros predadores como aranhas, também, foram observados, mas nenhum que seja predador específico do gênero *Cinara* (CLAUDE; FANSTIN, 1991).

As espécies de coccinelídeos registradas no Brasil, predando *C. atlantica*, são: *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia*

convergens, *Olla v-nigrun*, *Eriopis connexa*, *Coleomegilla quadrifasciata*, *Harmonia axyridis* e *Scymnus* sp., além de representantes da família Syrphidae (Diptera), Chrysopidae (Neuroptera) e do fungo entomopatogênico *Leccanicilium* sp. (IEDE, 2003; QUEIROZ, 2005). Iede (2003) atribuiu a redução da população de *C. atlantica* ao aumento populacional de predadores, particularmente coccinelídeos e sirfídeos, entre os meses de agosto e novembro, com uma tendência a se estabelecer ao longo do tempo.

Além do controle biológico de pragas, as pesquisas deverão focar-se, também, na resistência das plantas (OWINO, 1991). Observações de campo indicaram a ocorrência de plantas individuais relativamente livres de ataque de insetos, mesmo em áreas com alta infestação. Portanto, existe um potencial para minimizar os danos causados pelos afídeos, incluindo medidas como seleção de espécies de plantas menos suscetíveis e a seleção individual de plantas da mesma espécie (WEISS, 1991). A maior vantagem da seleção individual de plantas de uma espécie é a possibilidade de capitalizar sobre a resistência observada em árvores já estabelecidas. Porém, essa estratégia pode ter baixa eficácia, pois não há certeza de que uma árvore ilesa, mesmo em um local infestado de afídeos, seja resistente a essa praga. Isso pode ocorrer devido à sua impalatabilidade, como também, devido à sua resiliência que lhe permite uma rápida recuperação, mesmo após atacada pela praga.

Uma vez determinado o mecanismo de resistência que permite minimizar os danos pelas pragas, é possível desenvolver um programa de melhoramento genético (WEISS, 1991). A limitação do uso de espécies alternativas mais resistentes a uma

determinada praga é que a espécie substituta, muitas vezes, não produz matéria-prima com as características requeridas. Um exemplo é o plantio de *Pinus elliotii* em substituição a *P. taeda*, visando à resistência ao ataque da vespa-da-madeira, uma vez que ele é menos afetado. Porém, a madeira de *P. elliotii* contém maior teor de resina, o que dificulta a sua utilização na fabricação de papel pelo processo utilizado no Brasil.

2.2.5. Programa de controle biológico clássico no Brasil

O controle biológico tem a vantagem de não ser agressivo ao ecossistema florestal, desde que sua ação seja direcionada, especificamente, à praga em foco. Uma vez estabelecido, ele proporciona o controle praticamente total da praga, dispensando nova intervenção. O controle biológico clássico, com o uso de inimigos naturais da área de origem do hospedeiro, é um método popular e tem sido utilizado com sucesso em povoamentos florestais. As pragas da ordem Hemiptera são particularmente passíveis de controle por este método (GREATHEAD, 1989).

No Brasil, *Cinara atlantica*, *C. pinivora* e as demais pragas invasoras tornaram-se abundantes nos povoamentos de pinus, por não terem encontrado inimigos naturais específicos neste novo ambiente. Para esses casos, foram necessários esforços preliminares de identificação dos componentes do complexo de inimigos naturais que atuam nas regiões de origem da praga para introdução no novo ambiente.

Coletas exploratórias de inimigos naturais de *Cinara* foram realizadas nos Estados Unidos, nas florestas da Flórida, Carolina do

Sul, Carolina do Norte, Virgínia, Geórgia e Alabama. Foram visitadas, também, reservas florestais nacionais, áreas de regeneração natural, ao longo das rodovias, dos aceiros e das linhas de alta tensão. Os insetos coletados foram avaliados no laboratório do Museu de História Natural de Illinois, para uma pré-quarentena, previamente ao embarque para o Brasil, a fim de eliminar possíveis entomopatógenos e hiperparasitas.

Nas regiões de origem, *C. pinivora* e *C. atlantica* têm, como inimigos naturais mais

importantes, pequenas vespas dos gêneros *Pauesia* e *Xenostigmus*. *X. bifasciatus* (Hymenoptera: Braconidae) (Figura 9) foi um dos parasitóides coletados e introduzidos no Brasil. Ele veio complementar o complexo de inimigos naturais pré-existent, composto pelos predadores. No Brasil, esses insetos passaram pela quarentena, tanto para atender os requisitos legais quanto para assegurar de que outros agentes, hiperparasitóides ou patógenos, inclusive patógenos de plantas, não fossem introduzidos juntos.



Figura 9. Múmia e adulto de *Xenostigmus bifasciatus*, parasitóide do pulgão.

Após coletas repetidas em 2003 e 2004, obteve-se um número satisfatório de parasitóides, que foram multiplicados em laboratório e liberados em plantações de pinus, em Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Em todas as liberações, foram constatadas colonizações e estabelecimento efetivo desse

parasitóide. Em algumas colônias de pulgões, o parasitismo foi próximo a 100 % e este parasitóide foi capaz de alcançar uma distância de até 80 km do local de liberação, podendo ser considerado o principal agente de controle biológico das espécies de *Cinara* no Brasil (REIS FILHO et al., 2004). Após isso, não foram

realizadas mais liberações, tendo em vista a constatação do estabelecimento de *X. bifasciatus* em praticamente toda a Região Sul e no Estado de São Paulo. Esse parasitóide foi detectado inclusive no extremo sul do Rio Grande do Sul e na Província de Misiones, na Argentina, onde ele não havia sido liberado. Isso demonstrou o seu alto poder de dispersão.

O monitoramento da densidade populacional dos pulgões-gigantes-do-pinus foi realizado pela *Embrapa Florestas*, juntamente com a Universidade Federal do Paraná, como forma de avaliar a efetividade do programa de controle biológico. Esta é a parte mais importante do programa, visto que fornece informação sobre a colonização, o estabelecimento e a efetividade dos inimigos naturais no controle destes afídeos.

À semelhança do Programa Nacional de Controle à Vespa-da-Madeira, o programa de controle biológico dos pulgões-gigantes-do-pinus teve pleno êxito. Atuaram nesse programa, a *Embrapa Florestas*, a *Embrapa Monitoramento Ambiental*, o Fundo Nacional

de Controle à Vespa-da-Madeira (FUNCEMA), a EPAGRI, a Universidade Federal do Paraná e o Illinois Natural History Survey, dos Estados Unidos.

2.3. Gorgulho-do-pínus

O gorgulho-do-pínus (*Pissodes castaneus* (De Geer) - Coleoptera: Curculionidae) é um besouro cujas larvas perfuram os brotos terminais de *Pinus* spp. (Figura 10). Ele foi detectado em 2001, no município de São José dos Ausentes, RS, e em Pinhão, no Paraná. No início de 2002, foi constatado, também, em Curitiba e São Joaquim, SC, e em Cambará do Sul, RS, em povoamentos de *Pinus taeda*, com idades variando de 2 a 6 anos. Essa praga é originária do Norte da África (Argélia e Ilhas Canárias) e da Europa (Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Itália, Iugoslávia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Suíça, Eslováquia e da União dos Estados Independentes). Seus hospedeiros são as coníferas dos gêneros *Abies*, *Pinus* e *Pseudotsuga*.



Figura 10. Forma adulta do gorgulho-do-pínus (*Pissodes castaneus*).

FOTO FRANCISCO SANTANA

Em face do potencial de danos que o gorgulho representa aos povoamentos de pínus no Brasil, torna-se necessário desenvolver mecanismos eficazes para o seu controle.

Para isso, será necessário levantar dados técnicos que possibilitem a elaboração de um programa de MIP específico para esta praga.

2.3.1. Descrição do gorgulho-do-pínus

Os ovos do gorgulho-do-pínus são de coloração branco-pérola, brilhante, liso, oblongo e arredondado em ambas as extremidades, medindo de 0,5 mm a 1,0 mm de diâmetro. À medida que se aproxima do final do período de incubação, sua coloração torna-se amarelada. As larvas são de coloração branco-amarelada, com a cabeça castanho-clara, forma cilíndrica, ligeiramente

curva (em forma de “c”) e ápoda, com aproximadamente 10 mm de comprimento quando completamente desenvolvida (Figura 11). A pupa apresenta coloração branco-brilhante no início, tornando-se escurecida à medida que avança para a fase de maturação, com asas e pernas bem desenvolvidas. Seu corpo mede de 6 mm a 9 mm de comprimento e apresenta uma tromba proeminente na cabeça.

O inseto adulto apresenta coloração parda, com corpo cilíndrico e formato típico dos curculionídeos (longa tromba curva e antenas geniculadas). No extremo distal da tromba, localizam-se as pequenas, mas fortes, mandíbulas. Nos élitros, podem ser vistas quatro manchas transversais formadas por escamas amareladas. A olho nu, é muito difícil notar diferenças morfológicas entre machos e fêmeas.



Figura 11. Larva do gorgulho-do-pínus (*Pissodes castaneus*).
Foto: Wilson Reis Filho.

2.3.2. Biologia

Na sua região de origem, o gorgulho-do-pínus tem um ciclo biológico complexo. Os adultos são longevos, podendo viver até 20 meses. A oviposição, normalmente, ocorre em dois períodos distintos: o primeiro, entre meados da primavera e o início do verão (entre maio e meados de julho, no Hemisfério Norte) e, o segundo, do final do verão até o outono (final de agosto até outubro, no Hemisfério Norte) (ICONA, 1981). O clima influencia muito o ciclo de vida do inseto. Nas regiões de clima frio, ocorre uma geração a cada dois anos, enquanto que, em climas quentes, podem ocorrer até duas gerações ao ano. Neste último caso, a postura realizada no outono origina adultos no final da primavera e as realizadas na primavera produzem adultos no outono. Estes podem se reproduzir antes do período de hibernação no inverno.

As fêmeas fazem a postura entre a casca e o lenho, em cavidades no tronco, logo abaixo das brotações apicais (ramos de um ano), preferencialmente em árvores jovens. Elas depositam até três ovos em cada cavidade, sendo capazes de pôr entre 250 e 800 ovos cada (BEECHE CISTERNAS et al., 1993).

No Sul da Europa, o ciclo biológico do gorgulho-do-pínus é caracterizado por dois períodos de postura por ano. Em condições de temperatura entre 8 °C e 32 °C, podem ocorrer de uma a três gerações anuais (CARLE, 1973).

A larva do gorgulho alimenta-se do floema e chega a matar a parte terminal dos ramos de até três anos. Em pleno verão, elas constroem, logo abaixo da casca, uma câmara pupal de formato oval. Dependendo do clima, uma parte das larvas pode permanecer hibernando durante o inverno no ramo atacado. A pupação ocorre dentro de um pupário constituído de fibras de madeira. No Hemisfério Norte, a maioria dos adultos emerge entre o final de agosto e setembro. No Brasil, a emergência dos adultos ocorre, provavelmente, entre fevereiro e março (Figura 12). Eles podem hibernar, também, ocultos no solo ou entre as ranhuras da casca (ICONA, 1981).

Nas condições ambientais brasileiras, ainda não há conhecimento suficiente sobre a bioecologia do gorgulho-do-pínus que possa dar sustentação a um programa de MIP. Os primeiros estudos encontram-se atualmente em curso.



Figura 12. Orifício de emergência do gorgulho-do-pínus (*Pissodes castaneus*).
Foto: Wilson Reis Filho.

2.3.3. Danos e importância econômica

O gorgulho-do-pínus ataca, de preferência, plantios de pínus com até 15 anos de idade, localizados em sítios de baixa qualidade (solos rasos ou mesmo encharcados e de baixa fertilidade). De maneira geral, qualquer situação que cause debilidade (estresse) nas plantas, favorece o desenvolvimento e a propagação deste inseto.

Em pelo menos 90 % dos casos, no Brasil, as plantas atacadas pelo gorgulho-do-pínus apresentam, também, sérios problemas de envelhecimento ou encachimbamento das raízes, devido à falta de cuidados nas fases de produção de mudas e plantio. Casos de envelhecimento de raízes são típicos em mudas passadas (mudas que permaneceram nos

recipientes por um tempo demasiadamente longo ou em recipientes inapropriados). O encachimbamento pode resultar de procedimentos inapropriados no plantio, como a colocação das mudas com as raízes viradas para os lados ou para cima. Outro fator crítico é a ocorrência de espelhamento ou vitrificação do solo, nas paredes e no fundo das covas de plantio, causado pelo uso de ferramentas inapropriadas, especialmente em solos com alto teor de argila.

Em povoamentos de pínus, as intervenções como podas e desbastes, se não forem seguidas de remoção e destruição dos resíduos, podem contribuir para o surgimento e incremento populacional do gorgulho. O principal dano é causado pelas larvas, que se alimentam na região do cambio e da casca,

onde formam galerias sinuosas, preenchidas com excrementos. Esses danos são, comumente, vistos na parte inferior do caule, onde pode ocorrer um anelamento completo na árvore. As árvores atacadas apresentam um sintoma caracterizado pela coloração marrom-avermelhada na parte superior da copa e pode culminar com a sua morte.

As larvas atacam, de preferência, as árvores mais altas, causando redução do crescimento no ano seguinte. Após o ataque, os brotos laterais tomam a liderança, formando fustes bifurcados ou copa com aspecto arbustivo. Normalmente, as árvores voltam a ser atacadas somente se novos ramos forem formados. Ocasionalmente, podem ocorrer ataques repetidos na região abaixo de um ponteiro morto (ICONA, 1981).

No período de um ano, dependendo do estado nutricional e do manejo do talhão, podem ocorrer ataques em mais de 50 % das árvores. Durante um surto, a proporção de ataque varia entre anos devido aos efeitos do clima, da existência e da eficiência dos inimigos naturais e outros fatores. Portanto, é necessário avaliar as atividades desta praga em povoamentos florestais sob diferentes sistemas de manejo e submetidos a diferentes tratamentos silviculturais.

No Canadá, o gorgulho que causa problemas nos povoamentos de *Picea* spp. é *Pissodes strobi*. As árvores atacadas apresentam, próximo aos ponteiros do ano anterior, pequenos ramos amarelados, com respingos de resina, indicando ataques recentes. Esses ponteiros mostram sintomas de murcha e clorose progressiva das acículas, mudando de coloração para amarela, vermelha e marrom. Outro sintoma visível do ataque é

o entortamento dos ramos em forma de um cajado. Os ponteiros atacados mostram evidências de galerias do inseto, câmaras pupais e orifícios de emergência dos novos adultos. Os sintomas são mais visíveis no outono e, no inverno, alguns ponteiros infestados chegam a se quebrar (TURNQUIST; ALFARO, 1996).

2.3.4. Monitoramento e controle

Na região de origem do gorgulho-do-pínus, foram registradas duas espécies de parasitóides da família *Calcididae*, três de *Ichneumonidae* e duas de *Braconidae*, além de uma ave (pica-pau), como importantes inimigos naturais dessa praga. Para implementar um programa de controle biológico no Brasil, deverão ser selecionados inimigos naturais específicos, da região de origem do hospedeiro, para introdução em povoamentos de pínus afetados.

O gorgulho-do-pínus é vulnerável a vários produtos químicos. Porém, tratamentos com esses produtos são difíceis, visto que, durante partes do ano, os adultos buscam proteção contra as condições adversas do clima, entrando em hibernação (no inverno) ou estivação (no verão) no solo ou entre as ranhuras da casca (ICONA, 1981). Na sua região de origem, são realizadas aplicações aéreas esporádicas com Fenitrotion.

A escolha do sítio adequado para o estabelecimento de povoamentos de pínus é extremamente importante para que haja a menor suscetibilidade possível ao ataque do gorgulho, como também de várias outras pragas. Outros fatores que podem predispor as plantas ao ataque do gorgulho são os danos mecânicos, granizos, estresse hídrico e

geadas. Portanto, operações como a poda e os desbastes devem ser executadas somente nos períodos de baixa densidade populacional da praga. Isso, normalmente, ocorre durante o inverno. Além disso, os resíduos dessas operações deverão ser removidos e, preferencialmente, triturados, para evitar a proliferação desse inseto.

O uso de herbicidas deve ser feito com cuidado, visto que a deriva pode afetar a copa do pínus, causando predisposição ao ataque do gorgulho-do-pínus. De maneira geral, todos os fatores que causam estresse às plantas aumentam a sua suscetibilidade às pragas, inclusive a vespa-da-madeira. Com isto, pode-se dizer que a presença do gorgulho indica a ocorrência de outros problemas de caráter silvicultural no povoamento de pínus. Portanto, no manejo desses povoamentos, devem ser analisados todos os fatores bióticos e abióticos que possam favorecer o ataque das pragas, bem como medidas que possam minimizar os danos, tais como a escolha das espécies, dos sítios e dos genótipos adequados.

Uma das medidas de controle é a instalação de armadilhas que consistem de grupos de 16 toretes com 2 m de comprimento e de 5 cm a 10 cm de diâmetro, empilhados e dispostos em um local de fácil acesso no povoamento de pínus e, se possível, protegidos do sol. Deve-se colocar uma dessas pilhas de toretes para cada 15 a 20 ha de pínus. Os toretes devem ser de árvores recém-cortadas. Os resíduos de podas e desbastes devem ser removidos e destruídos, usando-se fogo ou picadores de madeira, para evitar a proliferação dos insetos. As armadilhas devem ser monitoradas mensalmente e, comprovando-se o ataque, as árvores afetadas

devem ser retiradas e destruídas, antes que ocorra a emergência da próxima geração de adultos. Assim, para o controle do gorgulho-do-pínus, recomendam-se as seguintes medidas:

- mapear os povoamentos de pínus de acordo com o grau de suscetibilidade (em geral, os estabelecidos em locais mais quentes são mais suscetíveis, pois a alta temperatura facilita e acelera o desenvolvimento das larvas);
- eliminar as árvores que apresentem qualquer sintoma de ataque de gorgulho (no Brasil, os primeiros sintomas aparecem entre setembro e outubro);
- instalar armadilhas nos períodos de maior incidência de posturas (no sul do Brasil, estima-se a ocorrência de posturas nos períodos entre dezembro e janeiro e entre março e abril);
- levar em consideração o risco de ataque de gorgulhos ao estabelecer novos plantios de pínus, para que possam ser planejadas as táticas de manejo.

3. Referências

- BEDDING, R. A. Biology of *Deladenus siricidicola* (Neotylenchidae) an entomophagous-mycetophagous nematodes parasitic in siricidae woodwasps. **Nematologica**, Leiden, v. 18, p. 482-493, 1972.
- BEDDING, R. A.; AKHURST, R. J. Use of *Deladenus siricidicola* in the biological control of *Sirex noctilio* in Australia. **Journal of Australian Entomological Society**, v. 13, p. 129-135, 1974.
- BEECHE CISTERNAS, M.; CERDA MARTINEZ, L.; HERRERA AUTTER, S.; LERMANDA FUSHLOCHER, M. E.; MORENO LEHUEDE, I.; VERGARA BAHNEN, C. **Manual de reconocimiento de plagas forestales cuarentenarias**. Santiago: Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, 1993. 169 p.

- CARLE, P. **Le dépérissement du pin mésogéen en Provence: rôle des insectes dans les modifications d'équilibre biologique des forêts envahies par *Matsucoccus feytaudi* Duc (Coccoidea, Margarodidae).** Doctoral thesis, University of Bordeaux, Bordeaux, 1973, 174 p.
- CARTER, C. I.; NICHOLS, J. F. A. **The green spruce aphid and Sitka spruce provenances in Britain.** Edinburgh: Forestry Commission, 1988. 7 p. (Occasional paper, 19).
- CARTER, C.; WATSON, G. The ecology of conifer aphids and its bearing on forest establishment and productivity. In: WORKSOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 23-32.
- CARVALHO, A. G. Parasitismo de *Ibalia* sp. (Hymenoptera: Ibalidae) em *Sirex noctilio* Fabricius, 1973 (Hymenoptera: Siricidae) em São Francisco de Paula, RS. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 26/27, p. 61-62, jan./dez, 1993.
- CARVER, M.; GROSS, G. F.; WOODWARD, T. E. Hemiptera. In: CSIRO. Division of Entomology. **The insects of Australia: a textbook for students and research workers.** 2nd. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1991. v. 1, p. 429-509.
- CHILIMA, C. Z. The status and development of conifer aphid damage in Malawi. In: WORKSOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 64-67.
- CIESLA, W. M. The cypress aphid, *Cinara cupressi* (Buckton) in Africa. In: WORKSOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 33-47.
- CLAUDE, N. J.; FANSTIN, M. The case of cypress attack by *Cinara cupressi* in Rwanda. In: WORKSOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 76-80.
- DAHLSTEN, D. L.; MILLS, N. J. Biological control of forest insects. In: FISHER, T. W. (Ed.). **Principles and application of biological control.** San Diego: Academic Press, 1990. 1046 p.
- DAVIS, K. M. **Forest management: regulation and valuation.** 2nd. ed. New York: McGraw-Hill. 1966. 516 p.
- EASTOP, V. F. A taxonomic review of the species of *Cinara* Curtis occurring in Britain (Hemiptera: Aphididae). **Bulletin of the British Museum Natural History: Entomology**, London, v. 27, n. 2, p. 101-186, 1972.
- FURNISS, R. L.; CAROLIN, V. M. **Western forest insects.** Washington, DC: USDA Forest Service, 1977. 654 p. (USDA. For. Serv. Misc. Pub., n. 1339).
- GREATHEAD, D. J. Biological control as an introduction phenomenon: a preliminary examination of programmes against Homoptera. **Entomologist**, v. 108, p. 28-77, 1989.
- HAGVAR, E. B.; HOFVANG, T. Aphids parasitoids (Hymenoptera, Aphididae): biology, host selection and use in biological control. **Biocontrol News and Information**, London, v. 12, p. 13-41, 1991.
- HOCKING, H. Studies on the biology of *Rhyssa persuasoria* (L.) (Hymenoptera: Ichneumonidae) incorporating an x-ray technique. **Journal of the Australian Entomological Society**, v. 7, p. 1-5, 1968.
- HOOD, W. M.; FOX, R. C. Control of aphids on loblolly pine in Northwestern South Carolina. **Journal of the Georgia Entomological Society**, Tifton, v. 15, n. 1, p. 105-108, 1980.
- ICONA. **Plagas de insectos de las masas forestales españolas.** [Madrid]: ICONA de Agricultura, Pesca y Alimentacion. [1981?]. 252 p.
- IEDE, E. T. **Monitoramento das populações de *Cinara* spp. (Hemiptera: Aphididae: Lachninae), avaliação de danos e proposta para o seu manejo integrado em plantios de *Pinus* spp. (Pinaceae), no sul do Brasil.** 2003. 172 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- IEDE, E. T.; LAZZARI, S. M. N.; PENTEADO, S. R. C.; ZONTA-DE-CARVALHO, R. C.; RODRIGUEZ-TRENTINI, R. F. Ocorrência de *Cinara pinivora* (Homoptera: Aphididae: Lacchinninae) em reflorestamentos de *Pinus* spp. no Sul do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 22., 1998, Recife. **Resumos.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1998a. p. 141.

- IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C.; BISOL, J. C. **Primeiro registro de ataque de *Sirex noctilio* em *Pinus taeda* no Brasil.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 12 p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular técnica, 20).
- IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C.; SCHAITZA, E. Programa nacional de controle à vespa-da-madeira no Brasil. In: IEDE, E. T.; SCHAITZA, E.; PENTEADO, S.; REARDON, R. C.; MURPHY, S. T. (Coord.). **Proceedings of a conference: training in the control of sirex noctilio by the use of natural enemies**, Colombo, Brazil, Nov. 4 to 9, 1996. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Morgantown: USDA, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team; Berkshire: Centre for Agriculture and Bioscience International, 1998b. p. 43-51.
- JOHNSON, W. T.; LION, H. H. Aphids on conifers. In: _____. **Insects that feed on trees and shrubs: an illustrated practical guide.** Ithaca: Cornell University Press, 1976. p. 68-69.
- KFIR, R.; KIRSTEN, F.; VAN RENSBURG, N. J. *Pauesia* sp. (Hymenoptera: Aphididae), a parasite introduced into South Africa for biological control of the black pine aphid *Cinara cronartii* (Homoptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, n. 14, p. 597-601, 1985.
- KIDD, N. A. C. The large pine aphid on Scots pine in Britain. In: BERRYMAN, A. A. (Ed.). **Dynamics of forest insect populations.** New York, Plenum Press, 1988. p. 111-128.
- KIDD, N. A. C.; TOZER, D. J. Host plant and crowding effects in the induction of alatae in the large pine aphid, *Cinara pinea*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 35, p. 37-42, 1984.
- LAZZARI, S. M. N.; ZONTA-DE-CARVALHO, R. C. Aphids (Homoptera: Aphididae: Lacchninae: Cinarini) on *Pinus* spp. and *Cupressus* sp. in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 21., 2000, Foz do Iguaçu. **Abstracts.** Londrina: Embrapa Soja, 2000. v. 1, p. 493. (Embrapa Soja. Documentos, 143).
- MADDEN, J. L. Behavioral responses of parasites to the symbiotic fungus associated with *Sirex noctilio*. **Nature**, London, v. 218, n. 13, p. 189-190, 1968.
- MAJOR, E. J. Water stress in Sitka spruce and its effect on the green spruce aphid, *Elatobium abietinum*. In: WATT, A. D.; LEATHER, S. R.; HUNTER, M. D.; KIDD, N. A. C. (Ed.). **Population dynamics of forest insects**, Andover: Intercept, 1990. p. 85-93.
- McCULLOUGH, D. G.; KATOVICH, S. A.; OSTRY, M. E.; CARLLSON, J. C. (Ed.). **Christmas tree pest manual.** 2nd. ed. [S.l.]: USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Northeastern Area, State and Private Forestry; East Lansing: Michigan State University, Department of Entomology, 1998. 143 p. (Extension bulletin E-2676).
- MILLS, N. J. Biological control of forest aphid pests in Africa. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 80, p. 31-36, 1990.
- NUTTALL, M. J. *Deladenus siricidicola* Bedding (Nematoda: Neotylenchidae): nematode parasite of *Sirex*. **Forests and Timber Insects in New Zealand**, v. 48, p. 1-8, 1980.
- ODERA, J. Pernicious exotic pests affecting forests and forest products in Eastern, Central and Southern Africa. In: WORKSHOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 99-105.
- OWINO, F. Silvicultural methods of exotic aphid pest control: use of resistant strains of host trees. In: WORKSHOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings.** Rome: FAO, 1991. p. 121-123.
- PATTI, J. H.; FOX, R. C. Seasonal occurrence of *Cinara* spp. and *Essigella pini* Wilson on loblolly pine, *Pinus taeda* L. **Journal of the Georgia Entomological Society**, Tifton, v. 16, n. 1, p. 96-105. 1981a.
- PATTI, J. H.; FOX, R. C. Vertical and lateral distribution of *Cinara* spp. and *Essigella pini* Wilson on loblolly pine, *Pinus taeda* L. **Journal of the Georgia Entomological Society**, Tifton, v. 16, n. 1, p. 214-218. 1981b.
- PEÑA-MARTINEZ, M. R.; MUNIZ, R. B. Especies de afidos (Homoptera: Aphididae) que danam hortalizas. In: ANAYA, S.; BAUTISTA, N. (Ed.). **Plagas de hortalizas y su manejo en México.** México: Centro de Entomología y Acarología: Sociedad Mexicana de Entomología, 1991. p. 41-71.

- PENTEADO, S. R. C.; LEITE, P. S. M.; LAZZARI, N. M. S.; ZONTA-DE-CARVALHO, C. R.; REIS FILHO, W.; IEDE, E. T. Primeiro registro de *Pineus boernerii* Annand (Hemiptera: Adelgidae) em *Pinus* spp. (Pinaceae) no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 20., 2004, Gramado. **Resumos**. Gramado: Sociedade Entomológica do Brasil, 2004. p. 448.
- PENTEADO, S. R. C.; OLIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. **Aplicação da amostragem seqüencial para monitoramento dos níveis de ataque de *Sirex noctilio* em povoamentos de *Pinus taeda***. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 17 p. (Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).
- PEPPER, J. O.; TISSOT, A. N. **Pine feeding species of *Cinara* in the Eastern U.S. (Homoptera: Aphididae)**. Gainesville: University of Florida, 1973. 160 p. (Florida Agricultural Experiment Station. Monograph series, n. 3).
- QUEIROZ, E. C. **Avaliação da infestação de *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae) em mudas de *Pinus taeda* L. (Pinaceae) em função da época de plantio**. 2005. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Paraná, Curitiba.
- REIS FILHO, W.; PENTEADO, S. R. C.; IEDE, E. T. **Controle biológico do pulgão-gigante-do-pinus, *Cinara atlantica* (Hemiptera: Aphididae), pelo parasitóide *Xenostigmus bifasciatus* (Hymenoptera: Braconidae)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 122).
- RODIGHERI, H. R.; IEDE, E. T. **Avaliação ambiental, econômica e social dos danos causados pelos pulgões-gigantes-do-pinus, *Cinara* spp. em plantios de *Pinus* no Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 110).
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. [Home page]. Disponível em: <http://www.sbs.org.br> Acesso em : 2007.
- SPRADBERY, J. P.; KIRK, A. A. Aspects of the ecology of siricid woodwasps (Hymenoptera: Siricidae) in Europe, North Africa and Turkey with special reference to the biological control of *Sirex noctilio* F. in Australia. **Bulletin of Entomological Research**, v. 68, p. 341-359, 1978.
- TAYLOR, K. L. The introduction and establishment of insect parasitoids to control *Sirex noctilio* in Australia. **Entomophaga**, v. 21, p. 429-440, 1976.
- TAYLOR, K. L. **The introduction, culture, liberation and recovery of parasites of *Sirex noctilio* in Tasmania, 1962-67**. Melbourne: CSIRO, Division of Entomology, 1967. 19 p. (Technical paper, 8).
- TURNQUIST, R. D.; ALFARO, R. I. **Spruce weevil in British Columbia**. Victoria: Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 1996. 7 p. (Forest pest leaflet, 2).
- WEISS, M. J. Compatibility of tactics: an overview. In: WORKSHOP ON EXOTIC APHID PESTS OF CONIFERS, 1991, Muguga, Kenya. **A crisis in African forestry: proceedings**. Rome: FAO, 1991. p. 133-135.
- ZUNIGA, E. Ochenta años de control biológico en Chile: revisión, historia y evaluación de los proyectos desarrollados (1903-1983). **Agricultura Tecnica**, Santiago, v. 45, n. 3, p. 175-183, 1985.

Ocorrência de Formigas Cortadeiras em *Pinus*

Wilson Reis Filho

1. Introdução

As formigas do gênero *Atta*, comumente denominadas de saúvas, e as do gênero *Acromyrmex*, conhecidas como quenquéns, constituem o complexo denominado de formigas cortadeiras, um dos principais problemas do empreendimento florestal no Brasil. Devido à sua alta capacidade de proliferação e voracidade, podem causar sérios prejuízos na implantação da floresta. Esses insetos são típicos da Região Neotropical e consomem mais vegetação do que qualquer outro grupo animal. Eles atacam quase todas as espécies de plantas cultivadas, podendo causar desfolha total e até a morte, tanto de mudas quanto de árvores adultas (Figura 1). Os maiores prejuízos são causados nos dois primeiros anos após o plantio e requerem altos custos no seu controle.

Atualmente, no Brasil, são utilizados milhares de toneladas de iscas granuladas no combate às formigas cortadeiras em florestas. Especificamente em *Pinus*, no sul do país, onde a ocorrência de quenquéns é mais comum, esta prática é empregada, em alguns casos, até o terceiro ano após o plantio. Em florestas de eucalipto, as formigas cortadeiras são combatidas durante todo o ciclo florestal.



Figura 1. Árvores de *Pinus tecunumanii* severamente atacadas pelas saúvas, em Itapetininga, SP. Foto: Jarbas Yukio Shimizu.

A importância das formigas cortadeiras levou as empresas florestais a formarem equipes exclusivas e permanentes para o

combate desta praga. As medidas de controle adotadas baseiam-se, além do emprego de iscas granuladas, na utilização de inseticidas na formulação em pó, para aplicação diretamente nos ninhos das quenquéns.

Apesar do alto custo do combate às formigas em florestas, algumas perdas, principalmente de mudas de *Pinus* nos primeiros três meses, têm sido imputadas à ineficiência das iscas granuladas ou à inutilização das mesmas pela ocorrência de chuvas. Práticas como do cultivo mínimo, que permitem a permanência de grande quantidade de resíduos florestais no campo, aumentam a dificuldade das equipes de monitoramento em encontrar os ninhos das quenquéns.

No sul do Brasil, particularmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, dispõe-se de poucas informações sobre a distribuição das espécies, biologia e comportamento, tanto do gênero *Atta* quanto de *Acromyrmex*. Nestes Estados, onde as quenquéns constituem um dos principais problemas florestais, ainda não se conhecem todas as espécies que ocorrem em florestas, nem as que realmente causam perdas econômicas. No Paraná e no oeste catarinense, as saúvas ocorrem em plantios florestais causando prejuízos principalmente em eucaliptos e pinus.

2. Características Gerais

As formigas cortadeiras são insetos da ordem Hymenoptera, família Formicidae, subfamília Myrmicinae, tribo Attini, gênero *Atta* (as saúvas) e *Acromyrmex* (as quenquéns). Outras espécies de menor importância são dos gêneros *Mycocepurus*, *Sericomyrmex* e *Trachimymex*.

As formigas dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* são os componentes mais característicos da fauna neotropical e considerados como importantes herbívoros nessa região (WEBER, 1972). Comumente, são dominantes na maioria dos habitats modificados pelo homem (FOWLER, 1983). Elas dependem, quase que exclusivamente, da coleta de partes vegetais frescas como substrato para o fungo (FOWLER, 1983). Suas populações variam quantitativa e qualitativamente de um local para outro, face às combinações das características peculiares a cada local (LIMA, 1991).

As formigas cortadeiras utilizam diversas plantas para cultivarem o fungo do qual se alimentam. Elas podem cortar partes das plantas ou utilizar porções já desprendidas como flores, folhas e frutos. Suas preferências são complexas e dependem, em parte, das características físicas da planta (CHERRETT, 1968). Aspectos químicos e físicos da vegetação influenciam na aceitação da planta pelas formigas (FOWLER; STILIS, 1980).

De modo geral, as formigas cortadeiras têm preferência pelas partes tenras das plantas (CHERRETT, 1972). A disponibilidade de vegetação pode ser o mais forte determinante da intensidade de forrageamento das espécies de formigas tropicais. Essa atividade pode ser limitada pela disponibilidade de forragem, fatores microambientais, declínio na área de forrageamento e temperaturas limitantes (FOWLER; ROBINSON, 1979). Em alguns casos, a intensidade de forrageamento é definida pelas características internas do ninho, como o tamanho da colônia, quantidade de imaturos e necessidades do fungo.

A identificação das formigas é baseada na forma das operárias: as operárias da saúva variam de tamanho, de 12 mm a 15 mm de comprimento, apresentam três pares de espinhos dorsais e seus ninhos podem atingir profundidades de mais de 5 m, sendo caracterizados, externamente, pelo monte de terra solta; as operárias da quenquém apresentam 8 mm a 10 mm de comprimento e cinco pares de espinhos no tórax. Seus ninhos, geralmente, não apresentam terra solta aparente.

As operárias de *Acromyrmex landolti* ficam ativas à noite. Durante o dia, sua atividade ocorre depois de uma chuva ou em tempo nublado (LABRADOR et al., 1972). No Paraguai, *A. landolti fraticornis* apresenta maior eficiência de forrageamento no verão e na primavera, com redução no outono e no inverno (FOWLER, 1981).

O forrageamento de *Acromyrmex hispidus*, *A. lobicornis*, *A. lundí* e *A. disciger* varia muito de acordo com o habitat e a temperatura (WEBER, 1972). Independentemente da homogeneidade do habitat, as formigas cortadeiras constroem grandes ninhos, abrigando milhares de indivíduos. Para se alimentarem, elas exploram vários substratos, obtendo, assim, a energia necessária à sobrevivência (FORTI, 1985).

O território de uma colônia de formigas inclui a área imediatamente ao redor do ninho, as trilhas e os túneis de forrageamento (FOWLER; STILES, 1980). As formas desses

territórios são variadas. No caso de *Atta capiguara*, *Atta laevigata*, *Acromyrmex heyri* e *Acromyrmex lundí*, são aproximadamente circulares e, no caso de *Acromyrmex landolti fraticornis*, têm formato linear (FOWLER, 1977).

Hölldobler (1979) demonstrou a relação entre a distribuição de recursos, a forma do território e o espaçamento entre os ninhos das formigas. O padrão espacial de distribuição dos indivíduos é peculiar à população, sendo importante no estudo do comportamento dessa população (CLARK; EVANS, 1955). A territorialidade funciona como mecanismo de espaçamento das formigas (BRIAN, 1956). Waloff e Blackith (1962) demonstraram que o espaçamento pode se dar ao acaso, em populações com baixas densidades.

3. Importância Econômica

As formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* causam sérios prejuízos aos setores florestal, agrícola e pecuário dos países da região Neotropical (Figura 2). Embora a literatura seja rica nos relatos sobre táticas de controle e prejuízos causados por essas pragas, existem poucos estudos sobre a taxonomia e a biologia, especialmente do gênero *Acromyrmex*. Aspectos sobre os hábitos de forrageamento, o ritmo de atividade e o raio de ação dessas espécies continuam pouco estudados. A maioria dos trabalhos nessa área foi realizada com espécies do gênero *Atta* (CHERRETT, 1968; 1972).



Figura 2. Danos causados pelas formigas cortadeiras em povoamento de *Pinus tecunumanii*, em Felixlândia, MG. Foto: Jarbas Yukio Shimizu.

Das 19 espécies de *Acromyrmex* de que se tem informação, *A. Heyeri*, *A. landolti* e *A. striatus* são especializadas em cortar monocotiledôneas. *A. lubicornis* corta tanto as monocotiledôneas quanto as dicotiledôneas. As três espécies mais amplamente distribuídas são *A. octospinosus*, *A. subterrâneas* e *A. landolti* (CHERRETT, 1972). Devido à sua alta capacidade de proliferação e voracidade, esta última pode aumentar em até 30 % o custo da operação florestal, no final do terceiro ciclo (MENDES FILHO, 1981). Em florestas de *Pinus* no Estado de Santa Catarina, o custo do controle de formigas cortadeiras pode chegar

a US\$5,00/ha, no primeiro ano de implantação (RIBAS JUNIOR, comunicação pessoal).

A ação patogênica dos fungos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Paecilomyces farinosus* foi demonstrada em laboratório e as concentrações mais eficientes no controle de *Atta sexdens sexdens*, quando em contato com a solução, foram de 10^8 e 10^9 conídeos/ml (LOUREIRO; MONTEIRO, 2004).

Arismendy e Peralta (2004) verificaram que não há rejeição de *Atta cephalotes* à isca contendo os fungos *Metarhizium anisopliae* e *Trichoderma viride* e que estes são eficazes

na eliminação de ninhos dessas formigas. Algumas espécies de eucalipto exercem efeitos deletérios sobre as formigas, especialmente as saúvas da espécie *Atta sexdens rubropilosa* (ANJOS; SANTANA, 1994). Existe uma ampla variação entre plantas, além dos eucaliptos, com referência tanto à preferência para forrageamento pelas formigas, quanto pelos efeitos danosos que podem causar a esses insetos.

4. Controle

As espécies de formigas mais prejudiciais aos plantios de *Pinus*, na Região Sul do Brasil, são do gênero *Acromyrmex* que, ao atacarem as plantas de até um ano de idade, podem causar a sua morte. Em outras regiões, as saúvas (*Atta* spp.) causam sérios danos em plantios florestais de todas as idades (Figura 3).



Figura 3. Povoamento de pínus em idade adulta, infestado de saúva (*Atta* sp.).
Foto: Jarbas Yukio Shimizu.

O seu controle deve ser feito antes do preparo do solo para o plantio. O revolvimento do solo, no caso de quenquéns, dificulta a localização dos ninhos, pois as colônias, por alguns dias, estarão ocupadas na reforma dos ninhos, sem apresentar atividade externa. Após o plantio, o controle deve ser feito só

quando for realmente necessário. Existe, portanto, uma tendência, nas operações com pínus, no Sul do Brasil, de se conviver com as formigas durante a fase de crescimento e maturação dos povoamentos florestais.

O monitoramento baseado na presença de ninhos ou de plantas cortadas pode indicar a

necessidade desse controle. A utilização de isca granulada é recomendada na quantidade de 5 g a 8 g por ninho de quenquém ou por metro quadrado de área apresentando terra solta, no caso da saúva. Para se estimar a área ocupada pelo ninho das saúvas, multiplica-se o comprimento da superfície que apresenta terra solta pela sua largura (Figura 4). A manutenção do controle pode ser realizada com aplicação de 1 kg de isca

granulada por hectare, embalada em micro-porta-iscas, contendo 5 g cada.

A manutenção do sub-bosque com maior diversificação e abundância de espécies vegetais pode poupar a floresta plantada do ataque de formigas cortadeiras. Espécies de plantas como o gergelim, se levadas ao ninho pelas formigas, prejudicam o desenvolvimento do formigueiro.



Figura 4. Estimativa da área ocupada pelo ninho da saúva, multiplicando-se o comprimento pela largura da superfície que apresenta terra solta pela formiga. Foto: Jarbas Yukio Shimizu.

5. Referências

- ANJOS, N. S.; SANTANA, D. L. Q. Alterações deletérias no comportamento de *Atta laevigata* (F: Smith) e *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae), causadas por folhas de *Eucaplyptus* spp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 23, n. 1, p. 25-30, 1994.
- ARISMENDY, E. L.; PERALTA, S. O. *Metarhizium anisopliae* y *Trichoderma viride* controlan colonias de *Atta cephalotes* en campo mejor que un insecticida químico. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2004.
- BRIAN, M. V. The natural density of *Myrmica rubra* and associated ants in Scotland. **Insects Sociaux**, v. 3, n. 4, p. 473-378, 1956.

- CHERRETT, L. M. Some factors involved in the selection of vegetable substrate by *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae) in tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 41, p. 647-660, 1972.
- CHERRETT, L. M. Some factors involved in the selection of vegetable substrate by *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae) in tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, n. 41, p. 647-660, 1972.
- CHERRETT, L. M. The foraging behavior of *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae): I. foraging patterns and plant species attacked in tropical rain forest. **Journal of Animal Ecology**, n. 37, p. 387-402, 1968.
- CLARK, P. J.; EVANS, F. C. On some aspects of spatial pattern in biological population. **Science**, v. 212, p. 397-398, 1955.
- FORTI, L. C. **Ecologia da saúva *Atta capiguara* Gonçalves, 1944 (Hymenoptera: Formicidae) em pastagem**. 1985. 234 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- FOWLER, H. G. Latitudinal gradients and diversity of the leaf-cutting ants (*Atta* and *Acromyrmex*) (Hymenoptera, Formicidae). **Revista de Biologia Tropical**, n. 31, p. 213-21, 1983.
- FOWLER, H. G. Some factors influencing colony spacing and survival in the grass-cutting ant *Acromyrmex landolti fraticornis* (Forel) Formicidae: Attini in Paraguay. **Revista de Biologia Tropical**, v. 25, n. 1, p. 89-99, 1977.
- FOWLER, H. G. Subtropical seasonality and the foraging activity of a grass-cutting ant *Acromyrmex landolti fraticornis* (Formicidae: Attini). **Ciência e cultura**, v. 33, n. 2, p. 252-257. 1981.
- FOWLER, H. G.; ROBINSON, S. W. Foraging by *Atta sexdens* (Formicidae: Attini): seasonal patterns, caste and efficiency. **Ecological Entomology**, v. 4, p. 239-247, 1979.
- FOWLER, H. G.; STILIS, E. W. Conservative resource management by leaf-cutting ants? the role of foraging territories and trails, and environmental patchiness. **Sociobiology**, v. 5, n. 1, p. 25-41, 1980.
- HÖLLDOBLER, B. Territoriality in ants. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 123, p. 211-218, 1979.
- LABRADOR, J. R.; MARTINEZ, Q. I. J.; MORA, A. *Acromyrmex landolti* Forel, plaga del pasto Guinea (*Panicum maximum*) en el Estado Zulia. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 2, n. 2, p. 27-38, 1972.
- LIMA, P. P. S. **Formigas cortadeiras (Hymenoptera, Formicidae) com ênfase nas culturas de Pinus e Eucalyptus**. 1991. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- LOUREIRO, E. S.; MONTEIRO, A. C. Seleção de isolados de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Paecilomyces farinosus* patogênicos para operárias de *Atta sexdens sexdens* (Lineus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae). **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 35-40, 2004.
- MENDES FILHO, J. M. A. Técnicas de combate às formigas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 7, p. 9 - 19, 1981.
- WALOFF, N.; BLACKITH, R. E. The growth and distribution of the mounds of *Lasius flavus* (Fabricius) (Hymenoptera: Formicidae) in Silwood Park, Berkshire. **Journal of Animal Ecology**, v. 31, p. 421-437, 1962.
- WEBER, N. A. Gardening ants: the Attines. **Memoirs of the American Physiological Society**. Philadelphia, v. 92, 1972. 146 p.

Potencialidade do gênero *Pinus* para uso em sistemas silvipastoris

Jorge Ribaski

1. Introdução

Os sistemas silvipastoris consistem de uma combinação intencional de árvores, pastagem e gado dispostos em uma mesma área e manejados de forma integrada, com o objetivo de incrementar a produtividade por unidade de área. Em síntese, são sistemas de produção que permitem a obtenção de dois ou mais produtos em um mesmo espaço físico, com o menor impacto possível sobre o meio ambiente.

Diversos estudos têm mostrado as vantagens dos sistemas silvipastoris em relação aos sistemas de produção tradicionais, principalmente por atenderem as premissas de desenvolvimento econômico e social atreladas às questões de proteção e aumento da sustentabilidade ambiental dos sistemas produtivos. O plantio de árvores em pastagens pode gerar vários benefícios para os componentes do ecossistema como clima, solo, microorganismos, plantas forrageiras e animais.

Trabalhos de avaliação do desempenho dos animais e da pastagem em sub-bosque, tanto do gênero *Pinus* quanto de *Eucalyptus*, evidenciam o grande potencial destes sistemas para melhorar a qualidade da pastagem sombreada e proporcionar ganhos de peso nos

animais. Além disso, a associação de pastagens com árvores contribui para reduzir os danos provocados pelas geadas na pastagem, em regiões sujeitas a estes fenômenos. Por outro lado, estes sistemas são mais complexos que os sistemas tradicionais, pois envolvem vários componentes que interagem entre si. O manejo desse complexo demanda informações técnicas pormenorizadas de cada componente para que se possa definir um planejamento estratégico adequado visando lograr o êxito desejado.

Neste capítulo, procurou-se levantar dados e informações técnicas a respeito da cultura de pínus integrada com a pecuária, por meio de sistemas silvipastoris. As fontes de informação foram os relatos de experiências e resultados de pesquisas no País e no exterior, enfatizando-se os aspectos tanto positivos quanto negativos desta associação.

2. Relação entre as Árvores e a Pastagem em Sistemas Silvipastoris

Os plantios convencionais de pínus formam densos maciços, dispostos em espaçamentos regulares e, normalmente, com uma única espécie. Nesses povoamentos, o nível de radiação solar que atinge o estrato herbáceo é dinâmico ao longo da formação dos povoamentos e a quantidade de luz que chega

ao sub-bosque declina com o tempo, até o completo fechamento do dossel. Os efeitos dessas alterações espectrais manifestam-se de diferentes formas. Sobretudo, ocorre redução no crescimento das espécies herbáceas e mudanças na composição fitossociológica, tendendo à concentração de espécies tolerantes ao sombreamento. Ocorre, portanto, uma redução gradativa de plantas das espécies C4 e aumento do tipo C3 no sub-bosque (PILLAR et al., 2002).

Nos sistemas silvipastoris, normalmente, usam-se baixas densidades de plantio, em diferentes arranjos espaciais. O regime de manejo visa à diversificação de produtos como toras finas nos primeiros desbastes e, posteriormente, toras de grandes dimensões, de alto valor para processamento mecânico. O objetivo não é só de reduzir a população para um número limitado de árvores de alta qualidade, mas, também, de aumentar o espaço livre entre elas, bem como de aumentar a luminosidade no sub-bosque, oferecendo oportunidades para o estabelecimento de sistemas de produção mistos, visando integrar as atividades pastoril e florestal. Nesses sistemas, a exposição da pastagem à luz é assegurada durante um período maior, de maneira que a competição permanece crítica somente na interface árvore-pastagem, onde o grau de adaptação da planta forrageira irá depender do seu grau de tolerância ao sombreamento.

Em um estudo do desempenho de forrageiras de inverno (aveia preta comum, aveia branca cv. Fapa 2, azevém comum, trevo branco e cornichão cv. São Gabriel) combinadas com *Pinus taeda* em diferentes densidades de plantio, Sartor et al. (2006) verificaram interações espécie x densidade e

espécie x local significativas. O povoamento de *P. taeda*, no espaçamento 15 m x 3 m, apresentou maior produção do que no espaçamento 9 m x 3 m. A produção de forragem da maioria das espécies foi maior no meio da parcela em relação à projeção da copa e o azevém foi a espécie mais tolerante ao sombreamento.

A incidência de radiação solar no sub-bosque está relacionada à densidade da espécie arbórea. Existe um estreito vínculo entre a alta densidade de árvores, a idade do povoamento e a baixa produção de forragem. Em sistemas silvipastoris com eucalipto, esta relação é mais pronunciada do que com pínus, em razão do seu rápido crescimento na fase juvenil (Figura 1). Na Austrália, Cameron et al. (1989) constataram que, em populações de *Eucalyptus grandis* com mais de 1.000 árvores/ha, o ponto crítico na produção da vegetação herbácea é atingido precocemente (logo após 18 meses), enquanto que, em populações com densidade de 300 árvores/ha, esse ponto crítico é atingido aos 4 anos de idade. Na região dos Cerrados, foi verificado um excelente desempenho agrônômico de *Andropogon gayanus*, em termos de produção de forragem e persistência, notadamente em combinação com *Pinus oocarpa*, mas não com *Eucalyptus grandis* (MELO, 1992).

Experimentos na província de Misiones, Argentina, indicaram que, para se manter uma boa relação entre produção de madeira e forragem em sistemas silvipastoris, são necessários desbastes mais precoces se a espécie florestal for o eucalipto (no segundo ano), enquanto que, se for usado o pínus, os desbastes podem ser iniciados aos quatro anos de idade (KURTZ; PAVETTI, 2006). Outros autores, também, obtiveram resultados

semelhantes quanto ao decréscimo da produção do sub-bosque forrageiro com o incremento da densidade e da idade do povoamento arbóreo (BRAZIOTIS;

PAPANASTASIS, 1995; GALLO et al., 1999; FERNÁNDEZ et. al., 2002).



Figura 1. Comparação entre os sombreamentos no sub-bosque de pínus (primeiro plano) e de eucalipto (ao fundo) com cinco anos de idade. Foto: Jorge Ribaski.

Na Província de Corrientes, Argentina, observaram-se correlações significativas entre a profundidade da copa verde, a área basal e a densidade do povoamento de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com a produção de matéria seca de forragem da pastagem composta, principalmente, por gramíneas dos gêneros *Paspalum* e *Axonopus* (ALEGRANZA et al., 1997). Populações florestais menos densas proporcionam melhores condições para o crescimento das plantas forrageiras no sub-bosque e por um período mais longo. Conseqüentemente, nesses tipos de povoamento florestal, consegue-se maior

tempo de utilização do sistema. Na Austrália, a produção da pastagem composta por *Lolium perenne*, *Trifolium subterraneum* e *Holcus lanatus* sob um povoamento de *Pinus radiata*, com densidades de 60 e 200 árvores/ha, foi similar a levemente inferior à da pastagem sem associação com árvores (KELLAS et al., 1995).

A manipulação da densidade arbórea em sistemas silvipastoris é uma forma de modificar a produção de biomassa dos demais componentes pelo controle da competição intra e interespecífica. Para se

obter níveis de iluminação mais adequados no sub-bosque (50 % a 60 %), são necessários podas e desbastes em momentos oportunos (KURTZ; PAVETTI, 2006). Em um sistema silvipastoril envolvendo pínus, Segundo Anderson et al. (1988), a competição com o estrato herbáceo pode ser aliviada mediante desbastes e podas das árvores em épocas apropriadas. Uma das recomendações quanto ao manejo de povoamentos de pínus em sistemas silvipastoris é o desbaste pré-comercial no terceiro ano, removendo-se as árvores menores e defeituosas em geral, como as retorcidas, bifurcadas e com ramos grossos, até chegar à densidade desejada (KURTZ; PAVETTI, 2006). No caso de *P. taeda* e *P. elliottii*, foi recomendada a densidade populacional de 600 árvores/ha, enquanto que com o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, a densidade deveria ser mantida entre 700 e 800 árvores/ha e, com *Eucalyptus grandis*, 250 árvores/ha.

Em um estudo de diferentes intensidades de desbaste em um povoamento de *Pinus elliottii*, com 18 anos de idade, sobre a biomassa forrageira de inverno, composta principalmente por gramíneas nativas (*Piptochaetium lasianthum*, *P. stipoides*, *Briza subaristata*, *Bothriochloa* sp. e *Setaria* sp.) em Cordoba, Argentina, foi considerado desejável manter uma área basal de, no máximo, 38 m²/ha para possibilitar o estabelecimento de um sistema integrado, para produção conjunta de gado e madeira. Isso corresponde à densidade de 600 a 800 árvores remanescentes por hectare, partindo-se da população de 1.600 árvores/ha (Tabela 1) (PLEVICHK et al., 2002). Nesse processo, foi observado o início da sucessão vegetal secundária, regenerando parte da composição florística da pastagem natural. Após os desbastes seletivos, manteve-se, no povoamento de 18 anos, um volume de madeira variando de 216 a 317 m³/ha e uma produção de forragem da ordem de 223 kg a 181 kg de matéria seca (MS) por hectare.

Tabela 1. Produção de madeira e pastagem em um sistema silvipastoril envolvendo *Pinus elliottii* com 18 anos de idade, em Cordoba, Argentina.

Tratamentos (% desbaste)	Densidade (árvores/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)	Pastagem (kg MS/ha)
0 (Testemunha)	1.600	61	462	0
25	1.200	52	433	59
37	1.000	41	346	135
50	800	38	317	181
62	600	24	216	223

Fonte: Plevichk et al. (2002).

Em um povoamento de *Pinus caribaea*, a composição florística do sub-bosque se altera dependendo do aumento da luminosidade, normalmente, em forma de aumento na abundância relativa das gramíneas mais agressivas, principalmente *Panicum maximum*, sem o aparecimento de novas espécies. Outros trabalhos têm mostrado efeitos variados (ALEGRANZA et al., 1997).

A redução no crescimento não é uma resposta geral ao sombreamento, pois, em algumas espécies, o sombreamento moderado estimula o crescimento. Com o sombreamento, alteram-se os padrões de radiação solar incidente e da temperatura do ar, influenciando a temperatura e a umidade do solo, a evapotranspiração, o balanço de energia disponível e, por conseguinte, a resposta da pastagem (SILVA, 1998). Nesse sentido, a seleção de plantas forrageiras adaptadas ao sombreamento e para serem

usadas em sistemas silvipastoris é um grande desafio para a pesquisa.

Em Turrialba, Costa Rica, as forrageiras *Centrosema* spp., *Desmodium* spp., *Flemingia congesta*, *Galactia striata* apresentaram boa adaptação em sub-bosque de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com área basal de 30 m²/ha, com luminosidade de apenas 18 % em relação à intensidade a pleno sol. Além dessas, espécies como *Canavalia ensiformis*, *Lablab purpureus* e *Vigna unguiculata*, também, apresentaram crescimento satisfatório. Outras espécies forrageiras como *Stylosanthes* spp., *Indigofera hirsuta*, *Cajanus cajan* e *Stilozobium* sp. apresentaram baixo rendimento à sombra. Entre as diversas espécies de gramíneas forrageiras, algumas das mais utilizadas para formação de pastagem no Brasil e em outras regiões tropicais e subtropicais são de tolerância média ao sombreamento (Tabela 2).

Tabela 2. Graus de tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento.

Intensidades de sombreamento		
Alta	Média	Baixa
<i>Axonopus compressus</i>	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Andropogon gayanus</i>
<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Brachiaria mutica</i>
<i>Paspalum conjugatum</i>	<i>Brachiaria humidicola</i>	<i>Digitaria decumbens</i>
<i>Panicum maximum</i>	<i>Hemarthria altissima</i>	<i>Cynodon plectostachyus</i>
	<i>Paspalum plicatulum</i>	<i>Melinis minutiflora</i>
	<i>Paspalum notatum</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>
	<i>Setaria sphacelata</i>	

Fonte: Carvalho (1998).

Brachiaria brizantha e *Axonopus catarinensis* são espécies de forrageira recomendadas para sistemas silvipastoris na Argentina (INTA ..., 2004), observando-se que, para reduzir o efeito da competição com o híbrido *P. elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* por água, é necessário plantar as espécies forrageiras no final do segundo ano ou no início do terceiro ano após o plantio de pinus. Existe uma estreita relação entre o nível de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), expressa pela sombra da copa das árvores projetada sobre o estrato herbáceo, e a sua produção de matéria seca (MS) (FASSOLA et al., 2006). Foi observado que a interceptação da RFA promove um incremento máximo de MS forrageira da gramínea *Axonopus compressus* com sombreamento de 40 %. Isso demonstra a possibilidade de se planejar atividades silvipastoris em médio e longo prazos envolvendo esta forrageira sob o dossel de pinus.

Outro aspecto a ser considerado nos sistemas silvipastoris é que o sub-bosque forrageiro, também, pode exercer influência negativa sobre as árvores. Espécies herbáceas agressivas podem intensificar a competição por água devido ao aumento da transpiração em períodos de crescimento. Uma experiência na Amazônia, envolvendo *Panicum maximum* plantado no primeiro ano de um povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, mostrou que a competição direta com a gramínea ocasionou alta mortalidade (80 %) em pinus. Com a substituição da espécie forrageira pela *Brachiaria humidicola*, semeada somente nas entrelinhas do pinus, no segundo ano de plantio deste, conseguiu-se reduzir para apenas 5 % a produção de madeira

(MOCHIUTTI; MEIRELLES, 2001).

Estudos na Nova Zelândia demonstraram que as espécies de forrageira no sub-bosque afetam, também, o volume de copa de *Pinus radiata*. A associação desta com a alfafa, que apresenta maior transpiração foliar e maior profundidade do sistema radicular do que azevém, ocasiona menor crescimento em volume de copa em *P. radiata* (YUNUSA et al., 1995). Assim, a estratégia recomendada é o manejo do sub-bosque visando reduzir a produção de biomassa como forma de alterar a relação do uso da água entre as árvores e substrato herbáceo.

O efeito da deposição de grande quantidade de acículas pelo pinus tem sido motivo de debate sobre a produtividade de sistemas silvipastoris com esse componente. Existem alegações de que a possível elevação na acidez do solo possa dificultar o crescimento de forrageiras herbáceas. Porém, ainda não há evidência quanto a esse efeito (SILVA et al., 2001). Aparentemente, a influência da deposição de acículas sobre a produtividade da pastagem se deve ao efeito físico de sua presença que reduz o espaço ocupado pelas forrageiras (PERI, 1999). Apenas uma ligeira acidificação na camada superficial do solo no sub-bosque de *Pinus ponderosa* tem sido relatada (BROQUEN et al., 2005).

3. Relação entre as Árvores e os Animais em Sistemas Silvipastoris

Em áreas de pastagem sem árvores, quando a temperatura diária estiver na faixa de neutralidade térmica para os bovinos, a maior parte do período de pastejo se concentra nas horas em que há luz do dia. Durante os

períodos mais quentes, os animais tendem a reduzir o pastejo pela tarde e a aumentar à noite. No inverno, quando a temperatura fica abaixo da zona de neutralidade, os animais pastejam mais no período da tarde do que da manhã (STUTH, 1993).

Em condições de estresse calórico, os animais reduzem a produção de calor ajustando o consumo ou do tempo de ingestão de forragem e isso reflete negativamente na produção (PURWANTO et al., 1990). Portanto, na ausência do componente arbóreo como regulador de temperatura, o consumo da pastagem torna-se limitado, tanto por razões de desequilíbrio do balanço térmico quanto por restrições do horário de pastejo (SÁNCHEZ, 1998; PORFÍRIO-DA-SILVA, 1994; CARVALHO, 1998).

Nos sistemas silvipastoris, o microclima sob o dossel das árvores proporciona maior conforto aos animais (MONTROYA VILCAHUAMAN; BAGGIO, 1992; PORFÍRIO-DA-SILVA, 1994; SAKURAI; DOHI, 1989; LYNCH; DONNELLY, 1980; GREGORY, 1995), visto que as temperaturas máximas tornam-se mais baixas e as mínimas ficam atenuadas (CESTARO, 1988) e, também, ocorre a redução da temperatura do solo e da velocidade dos ventos (KRAUSE et al., 1993).

A inclusão do componente animal em florestas comerciais precisa ser planejada desde o momento do seu estabelecimento e ao longo de seu desenvolvimento, levando-se em consideração que são atividades distintas que, isoladamente, apresentam características de manejo peculiares. Assim, são necessárias informações técnicas sobre cada um desses componentes para que se possam fazer ajustes de manejo nos aspectos temporal e

especial, visando assegurar a produção sustentável (SILVA et al., 2001).

Aumentos na densidade de árvores e no volume de suas copas tendem a reduzir a quantidade de forragem disponível no sub-bosque para os animais. Essas circunstâncias podem ser criadas pelo aumento no número de árvores por área, como também, pelo aumento na idade das árvores no sistema. No sudoeste de Victoria, Austrália, foram verificadas reduções na produção de lã e no ganho em peso vivo de ovinos, após 13 anos de utilização da pastagem sob o dossel de *Pinus radiata*, na densidade de 200 árvores/ha, mas não na densidade de 60 árvores/ha ou na pastagem aberta (BIRD et al., 1995). Outros estudos na Nova Zelândia (KNOWLES et al., 1999) e na Austrália (ANDERSON; BATINI, 1983), também, chegaram a conclusões semelhantes.

O microclima que se cria sob o dossel do componente florestal pode apresentar alguns aspectos negativos quanto à sanidade animal. No Uruguai, algumas raças bovinas são prejudicadas pelo aumento na população de insetos sob o dossel das árvores (NOBLE, 1992). Atribui-se, a esse tipo de ambiente, a redução na qualidade da pastagem e o aumento na incidência de parasitas gastrointestinais nos animais, com aumento no consumo de serapilheira (KNOWLES et al., 1999).

A incorporação de animais em povoamentos florestais pode ter implicações mais complexas do que a simples oportunidade de pastejo no sub-bosque. Com a inclusão de bovinos, há possibilidade de acarretar danos às árvores, mais graves do que com animais menores (ovinos e caprinos)

(Figura 2). Os bovinos podem alcançar ramos à maior altura e podem provocar quebra de ramos e até do fuste devido ao hábito de se esfregar nas árvores, além de pisotear e quebrar as plantas menores. Por esses motivos, recomenda-se iniciar o pastejo nos sistema silvipastoris somente quando a copa das árvores já estiver fora do alcance dos animais (FRANKE; FURTADO, 2001) (Figura 3). Em geral, os animais provocam maiores danos às árvores quando a forragem no sub-bosque é de baixa qualidade (VARELLA, 1997;

SILVA, 1998; FRANKE; FURTADO, 2001; PEARSON; WHITAKER, 1973; MAGALHÃES et al., 2004).

Existe uma relação inversa entre a intensidade de danos às árvores provocados pelos animais e a altura média da floresta. Em florestas jovens, recomenda-se o pastejo com animais pequenos e carga animal adequada (SILVA et al., 2001). No caso de árvores com folhagem de baixa palatabilidade, como pínus, o pastejo pode ser antecipado, desde que o diâmetro do tronco não seja limitante (FRANKE; FURTADO, 2001).



Figura 2. Criação de ovelhas em um sistema silvipastoril com *Pinus elliotii*, com 2 anos de idade, em Alegrete, RS. Foto: Vilmar Luciano Mattei.



Figura 3. Criação de bovino em um sistema silvipastoril com *Pinus elliotii*, com 5 anos de idade, em Alegrete, RS. Foto: Jorge Ribaski.

Os danos pelos animais nos sistemas silvipastoris dependem da categoria e da espécie animal. Animais jovens e menores tendem a danificar menos as árvores, mas requerem melhor qualidade de forragem no sub-bosque. Animais adultos tendem a ser menos exigentes quanto à qualidade do pasto, porém, danificam com mais intensidade as árvores (SILVA et al., 2001).

No Uruguai, ovelhas pastejando em um povoamento de *Pinus taeda*, com seis anos de idade e com aproximadamente 100 árvores/ha, não causaram danos sobre o componente florestal e o desenvolvimento deste foi similar ao das árvores sem pastejo (MARTINEZ et al., 1990). No caso do

eucalipto, em razão do seu rápido crescimento, a entrada dos animais nos sistemas silvipastoris pode ser antecipada (VARELLA, 1997; SILVA, 1998).

O pisoteio dos animais é um fator importante no sistema, visto que causa compactação do solo e afeta o crescimento das árvores, além de favorecer a erosão superficial do solo. O pastoreio contínuo de bovinos em área de floresta provoca desnudamento do solo e a destruição das raízes superficiais (SCHNEIDER et al., 1978). Visto que estas são as responsáveis pela absorção da maior parte dos nutrientes requeridos pelas árvores, resulta um sério prejuízo ao seu crescimento.

A compactação do solo pelos animais em sistemas silvipastoris afeta, também, a infiltração de água no solo e, com isso, altera a cobertura vegetal do sub-bosque (DANIEL; COUTO, 1998; BEZKOROWAJNYJ et al., 1993). Portanto, medidas de conservação do solo são necessárias para assegurar a sustentabilidade da produção do sistema.

4. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais

Diversos estudos têm mostrado a potencialidade dos sistemas silvipastoris. Eles constituem alternativas econômicas, ecológicas e socialmente viáveis para o fortalecimento da agricultura familiar, proporcionando o aumento da produção e, conseqüentemente, da receita nas propriedades rurais. A introdução do componente florestal, principalmente de pínus para produção de madeira para desdobro, em pastagens, é prática difundida em países como Nova Zelândia, Austrália, Chile, Estados Unidos, Grã-Bretanha e Fiji (GRELEN, 1978; MAGALHÃES et al., 2004), onde benefícios socioeconômicos vêm sendo obtidos ao longo dos anos. Nesses sistemas, pode-se produzir madeira e produtos de origem animal, simultaneamente, além de gerar benefícios como redução da erosão, otimização do consumo de energia, proteção ambiental, fixação do homem no campo, manutenção do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis e das condições socioeconômicas (RIBASKI; MONTOYA VILCAHUAMAN, 2001).

Na Nova Zelândia, a ovinocultura e a bovinocultura são atividades econômicas importantes. Muitos produtores têm adotado a estratégia de plantar *Pinus radiata* nas pastagens, em espaçamentos amplos, com o

objetivo de diversificar a produção, proteger os animais e controlar a erosão (MEAD, 1995). A realização dos vários benefícios do componente florestal, em combinação com a produção animal, tem atraído a preferência dos produtores pelo sistema silvipastoril. Atualmente, estima-se que sejam plantados, anualmente, em torno de 100 mil ha desse sistema, gerando madeira e carne (ou leite) na mesma área, com rendimentos maiores que os oferecidos pelas culturas individuais. A produção é otimizada mediante podas freqüentes e mais altas para melhorar a forragem no sub-bosque, desbastes precoces e seletivos para maximizar a rentabilidade do sistema. Assim, iniciando-se com 500 a 800 árvores/ha, chega-se, após desbastes progressivos, à densidade final de 200 a 300 árvores/ha, podadas de 6 m a 8,5 m de altura, aos oito anos de idade (MACLAREN, 1988, citado por PERI, 1999). Na Argentina, também, os sistemas silvipastoris vêm sendo adotados, por se tratarem de alternativas reais de investimento, com baixos riscos e elevados retornos, como possibilidade de diversificação da renda, melhoria na qualidade do produto com agregação de valor (madeira para desdobro), possibilidade de introduzir inovações comerciais e a possibilidade de reduzir custos (FASSOLA et al., 2004).

No Chile, foi desenvolvido um modelo silvipastoril destinado aos pequenos produtores rurais, para atender suas necessidades, de forma compatível com a identidade cultural e seu sistema de vida. O modelo consiste do pastoreio dos recursos naturais forrageiros dentro das plantações comerciais de *Pinus radiata*, com densidades variando de 1.250 a 1.600 plantas/ha. Os animais são introduzidos nesses povoamentos

quando as árvores atingirem altura média de 1,5 m, para ovinos, e 2,0 m para bovinos (SOTOMAYOR GARRETON; RIVAS, 2007).

Experiências na Argentina combinando povoamentos de *Pinus ponderosa* para produção de madeira para desdôbro, com a

exploração da pastagem natural do sub-bosque para a criação de ovinos, mostraram que o sistema silvipastoril é mais rentável que a criação de ovinos na forma tradicional e esta mais rentável que os plantios puros de pínus (Tabela 3) (DESARROLLO ..., 2004).

Tabela 3. Análise econômica comparativa entre sistemas silvipastoris com *Pinus ponderosa* e pecuária tradicional da região de Bariloche, Argentina.

Resultados financeiros dos diferentes sistemas de produção*		
Sistemas de produção	TIR (%)	VPL (\$/ha)
1 Sistema silvipastoril com 500 árvores/ha	11,2	150
2 Sistema silvipastoril com 1.000 árvores/ha	5,0	-181
3 Sistema florestal puro com 1.111 árvores/ha e 3 desbastes	3,6	-273
4 Sistema florestal puro com 1.111 árvores/ha e 2 desbastes	3,2	-295
5 Sistema tradicional de criação de ovinos (testemunha)		60

*Rotação de 45 anos, com taxa de desconto de 7 % ao ano (valores em Pesos Argentinos); TIR = Taxa interna de retorno; VPL = Valor presente líquido.

No Uruguai, têm-se obtido resultados promissores com a alternativa de semear gramíneas forrageiras (raigrás Titán) entre as fileiras de árvores, após desbaste sistemático no terceiro ano, em povoamentos reduzidos até 420 a 450 árvores/ha (eucaliptos ou pínus) e podadas de 4 m a 5,5 m de altura (MOSCA, 1998). Outras técnicas não convencionais, também, têm proporcionado benefícios econômicos. Por exemplo, a experiência em Pinar del Rio, Cuba, com a utilização da

biomassa de *Pinus caribaea* e da sua folhagem na elaboração de farinhas para alimentar galinhas poedeiras. Os resultados mostraram que a farinha de acículas melhora a cor da gema e aumentou o número de ovos com adição de 3 % de farinha de acículas à ração. Com isso, estima-se a produção de 2 mil kg de farinha de acículas por hectare que substituiriam 310 g de ração por ave (LEYVA et al., 1989).

Entre os benefícios dos sistemas silvipastoris, cita-se o aumento na produção de carne bovina, sem prejuízo ao desenvolvimento das árvores, com a vantagem de reduzir os riscos de incêndio e os custos de sua prevenção. Em um sistema com gado bovino em povoamentos de *Pinus elliottii*, Baggio e Schreiner (1988) recomendaram a manutenção de uma carga animal de até 0,5 cabeça/ha e a execução de podas nos povoamentos de pínus.

As árvores, também, têm o potencial de melhorar os solos por numerosos processos. Elas podem aumentar a quantidade e a disponibilidade de nutrientes para o sistema radicular das culturas consorciadas (BURESH; TIAN, 1997; RIBASKI, 2000). A ciclagem de nutrientes minerais é maior nos sistemas silvipastoris do que nas pastagens tradicionais sem árvores (BOTERO; RUSSO, 1998; McEWEN; DIETZ, 1965). Os teores de proteína bruta em *Poa pratensis*, *Carex foenea* e *Oryzopsis asperifolia*, cultivadas à sombra de

Pinus ponderosa, foram significativamente maiores que nas áreas não sombreadas.

No sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, observa-se uma crescente pressão antrópica sobre os recursos naturais, particularmente pela exploração da pecuária extensiva. O excesso de pastoreio tem levado à degradação ambiental, decorrente da diminuição da cobertura vegetal e, conseqüentemente, ao aumento da erosão desses solos (SUERTEGARAY; BERTE, 1997). Em alguns locais, as alterações ambientais têm sido extremas, resultando na formação de extensas áreas com solos arenosos expostos (Figura 4). Nesse ambiente, o plantio de espécies florestais de rápido crescimento em sistemas silvipastoris tem sido visualizado como uma importante alternativa de uso da terra e, também, como forma de agregar valor econômico com o acréscimo da madeira entre os itens de produção (FREITAS et al., 2003; RIBASKI et al., 2005).



Figura 4. Campo arenizado com vegetação rarefeita, em Alegrete, RS, evidenciando a fragilidade natural desse solo. Foto: Jorge Ribaski.

Algumas experiências foram desenvolvidas nesse tipo de solo, visando criar alternativas e métodos capazes de recuperar e controlar grandes áreas areníticas desprovidas de vegetação, com o propósito de incorporá-las ao processo produtivo (SOUTO, 1984). Dentre um grande número de espécies arbóreas plantadas, as melhores perspectivas foram apresentadas pelos eucaliptos e os pinus (Figura 5).

A presença de árvores em sistemas silvipastoris produz efeitos importantes na proteção dos solos arenosos contra a erosão.

Uma pesquisa desenvolvida na região de Alegrete, RS, mostrou que as perdas de solo, no mesmo período, foram significativamente maiores na área cultivada com aveia e milho (359 kg/ha) do que na área com pastagem nativa (42 kg/ha) e nos sistemas silvipastoris, com pinus e com eucalipto, onde somente 32 kg/ha e 18 kg/ha, respectivamente, foram perdidos (RIBASKI et al., 2005). Isso demonstra a fragilidade desses solos, ressaltando a importância das árvores como elementos essenciais para a proteção desse recurso natural (Figura 6).



Figura 5. Plantio de *Pinus elliottii* para recuperar áreas arenizadas, destacando-se a proteção do solo pela camada de serapilheira. Foto: Jorge Ribaski.

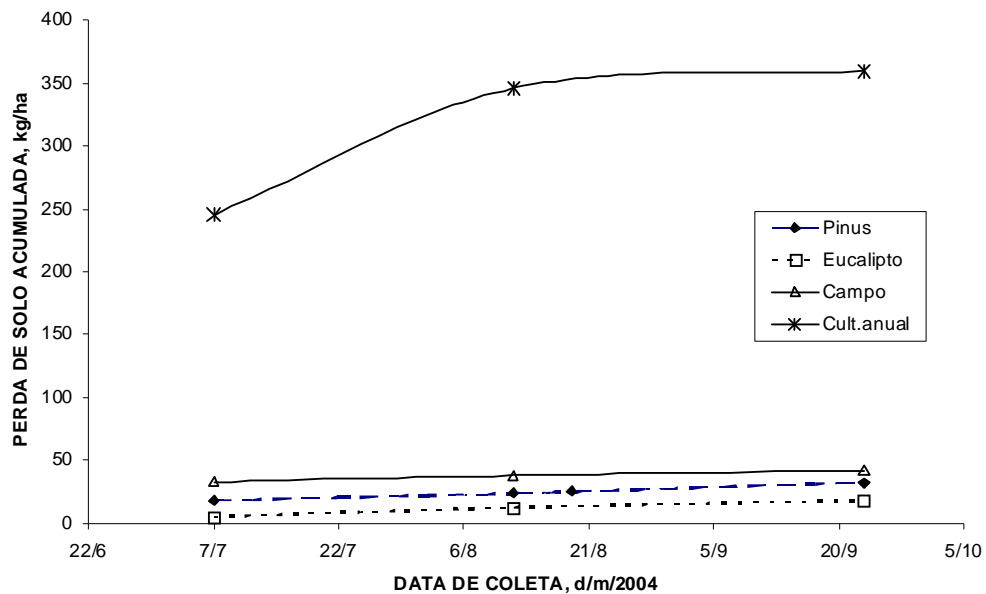


Figura 6. Perda de solo nos sistemas silvipastoris com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* comparados com campo nativo e cultivo de aveia e milho (cultivo anual).

O aumento na rentabilidade econômica nas propriedades rurais, decorrente da inclusão do componente florestal através dos sistemas silvipastoris, causa impactos positivos. Os efeitos ecológicos, cuja valoração aditiva só é possível ao longo do tempo, são acompanhados por resultados econômico-financeiros favoráveis. Normalmente, nos sistemas silvipastoris, esses resultados superam os das monoculturas. Portanto, nas estratégias destes empreendimentos, deve-se considerar a economia de escala e os valores agregados à madeira produzida (MARLATS et al., 1995). Nesse sentido, a conversão de pastagens em sistemas silvipastoris usando espécies de rápido crescimento, como os eucaliptos e os pinus, poderá gerar um importante diferencial competitivo ao agronegócio brasileiro.

A introdução do componente florestal na propriedade rural, por meio dos sistemas silvipastoris, poderá gerar benefícios complementares para ambas as atividades. A produção da pecuária contribui para cobrir o fluxo de caixa negativo durante o período de maturação do investimento florestal e este, por sua vez, incorpora, ao sistema pecuário, benefícios ambientais importantes no aspecto da sustentabilidade ambiental, econômica e social. Isto ocorre porque a diversidade de culturas promove entradas de recursos distribuídas ao longo do tempo, além de contribuir para minimizar o problema do êxodo rural (PORFÍRIO-DA-SILVA; RIBASKI, 2006).

5. Referências

ALEGRANZA, D.; TORRES, E; REBORATTI; H. B.; FASSOLA, H. E. **Efecto de la densidad del *Pinus caribaea* var *caribaea* sobre la oferta forrajera.** Montecarlo: INTA, Estación Experimental Montecarlo. 1997. 11 p.(Informe técnico, n. 18).

ANDERSON, G. W.; BATINI, F. E. Pasture, sheep and timber production from agro-forestry systems with subterranean clover sown under 15-year-old *Pinus radiata* by a method simulating aerial seeding.

Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, Victoria, v. 23, n. 121, p. 123-130, 1983.

ANDERSON, G. W.; MODRE, R. W.; JENKINS, P. L. J. The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia.

Agroforestry Systems, Dordrecht, n. 6, p. 195-211, 1988.

BAGGIO, A. J.; SCHREINER, H. G. Análise de um sistema silvipastoril com *Pinus elliotii* e gado de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 16, p. 19-29, 1988.

BEZKOROWAJNYJ, P. G.; GORDON, A. M.; MCBRIDE, R. A. The effect of cattle foot traffic on soil compaction in a silvo-pastoral system.

Agroforestry Systems, Dordrecht, v. 21, n. 1, p. 1-10, 1993.

BIRD, P. R.; KELLAS, J. D.; KEARNEY, G. A. Animal production under a series of *Pinus radiata*-pasture agroforestry systems in South-west Victoria, Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 6, p. 1299-1310, 1995.

BOTERO, R.; RUSSO, R. O. **Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales.** 22 p. Disponível em:

<<http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/>>. Acesso em: 3 fev. 1999. Artículo presentado en la 3ª Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica, 1998.

BRAZIOTIS, D. C.; PAPANASTASIS, V. P. Seasonal changes of understorey herbage yield in relation to light intensity and soil moisture content in a *Pinus pinaster* plantation. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 29, n. 8, p. 91-101, 1995.

BROQUEN, P.; CANDAN, F.; FALBO, G. Impacto del *Pinus ponderosa* sobre la acidificación de los suelos de la transición bosque-estepa, SO del Neuquén, Argentina. **Bosque**, Valdivia, v. 26, n. 3, p. 63-74, 2005.

- BURESH, R. J.; TIAN, G. Soil improvement in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, n. 1-3, p. 51-76, 1997.
- CAMERON, D. M.; RANCE, S. J.; JONES, R. M.; CHARLES-EDWARDS D. A.; BARNES, A. Project STAG: an experimental study in agroforestry. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 40, n. 3, p. 699-674, 1989.
- CARVALHO, M. M. **Arborização de pastagens cultivadas**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998. 37 p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 64).
- CESTARO, L. A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS. **Revista Árvore**, v. 12, n. 1, p. 41-57, 1988.
- DANIEL, O.; COUTO, L. **Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con eucalipto en Brasil**. 15 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/>>. Acesso em: 3 fev. 1999. Artículo presentado en la 3ª Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica, 1998.
- DESARROLLO de sistemas silvopastoriles en base a plantaciones de *Pinus* spp: informe final 2. Disponível em: <<http://www.inta.gov.ar/bariloche/nqn/forestal/publica/10.pdf>> 30/11/04. Acesso em: 15 jul. 2007.
- FASSOLA, H. E.; LACORTE, S. M.; ESQUIVEL, J.; COLCOMBET, L.; MOSCOVICH, F.; GRECHI, E.; PACHAS, N.; KELLER, A. Sistemas silvopastoriles en Misiones y Noreste de Corrientes y su entorno de negocios. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 19., 2004, Concordia. **Pósters**. Disponível em: <<http://www.sagpya.meccon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/2004.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2007. In extenso.
- FASSOLA, H. E.; LACORTE, S. M.; PACHAS, N.; PEZZUTTI, R. Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. **Revista Argentina de Producción Animal**, v. 26, p. 101-111, 2006.
- FERNÁNDEZ, M. E.; GYENGE, J. E.; DALLA SALDA, G.; SCHLICHTER, E. T. M. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia. I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 55, n. 1, p. 27-35, 2002.
- FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51 p. il. (Embrapa Acre. Documentos, 74).
- FREITAS, C. A.; GOULART, D. D.; ALVES, F. D. **O processo de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul: uma alternativa para o seu desenvolvimento sócio-econômico**. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/download/eeg/1/mesa_11_freitas_goulart_alves.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2003.
- GALLO, L.; SOMARRIBA, E.; IBRAHIM, M.; GALLOWAY, G. Produtividade de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*. **Agroforesteria en las Américas**, v. 6, n. 23, p. 57-59, 1999.
- GREGORY, N. G. The role of shelterbelts in protecting livestock: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 38, n. 4, p. 423-450, 1995.
- GRELEN, H. E. Forest grazing in the south. **Journal of Range Management**, v. 31, p. 244-49, 1978.
- KELLAS, J. D.; BIRD, P. R.; CUMMING, K. N. Pasture production under a series of *Pinus radiata* - pasture agroforestry systems in South-west Victoria, Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 6, p. 1285-1297, 1995.
- KNOWLES, R. L.; HORVATH, G. C.; CARTER M. A.; HAWKE M. F. Developing a canopy closure model to predict overstory/understory relationships in *Pinus radiata* silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 43, p. 109-119, 1999.
- KRAUSE, J. C.; ARAGONES, S. R.; FERREIRA, V. P.; SOARES, L. H. B.; BERGAMASCHI, H. SAIBRO, J. C.; SILVA, J. L. S. Microclima de floresta de eucalipto no Rio Grande do Sul: I - temperatura, umidade relativa e velocidade do vento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Resumos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. p. 122.

- KURTZ, V. D.; PAVETTI, D. R. **Sistema foresto-ganadero con especies de rapido crecimiento** (*Pinus* spp. y *Eucalyptus grandis*). In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 21., 2006, Concordia. **Pósters**. Disponível em: <http://www.inta.gov.ar/CONCORDIA/capacita/jor_forestales/jor_forestales-2006_resumenes/II-Kurtz%20y%20Pavetti.pdf> . Acesso em: 15 ago. 2007 In extenso.
- LEYVA, B.; MARTÍNEZ, J. M.; QUERT, R.; VIDAL, A.; CABALLERO, J. C. **Alimentación de gallinas ponedoras con harina vitamínica obtenida a partir de follaje verde de *Pinus caribaea***. Habana: Instituto de Investigaciones Forestales, 1989. 11 p. (Boletín técnico forestal, n. 1).
- LYNCH, J. J.; DONNELLY, J. B. Changes in pasture and animal production resulting from the use of windbreaks. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 31, n. 5, p. 967-979, 1980.
- MAGALHÃES, J. A.; NEWTON, L. C.; PEREIRA, R. G. A. de.; TOWNSEND, C. R.; BIANCHETTI, A. Sistemas silvopastoris: alternativa para a Amazônia. **Bahia Agrícola**, v. 6, n. 3, p. 52-54, 2004.
- MARLATS, R. M.; DENEGRI, G.; ANSIN, O. E.; LAFRANCO, J. W. Sistemas silvopastoriles: estimación de beneficios directos comparados con monoculturas en la Pampa Ondulada, Argentina. **Agroforestería en las Americas**, año 2, n. 8, p. 20-25. 1995.
- MARTINEZ, F.; PEREYRA, F.; BOGGIANO, P. Silvopastoreo com lanares. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CAMPO NATURAL, 2., 1990, Tacuarembó. **Anales**. Tacuarembó: INIA, 1990.p. 359-365.
- McEWEN, L. C.; DIETZ, D. R. Shade effects on chemical composition of herbage in the Black Hills. **Journal of Range Management**, v. 18, n. 4, p. 184-190, 1965.
- MEAD, D. J. The role of agroforestry in industrialized nations: the southern hemisphere perspective with special emphasis on Australia and New Zealand. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 31, n. 2, p. 143-156, 1995.
- MELO, J. T. *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa* consorciado com culturas e pastagens em áreas de cerrado. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1992. v. 1, p. 95-108.
- INTA (Argentina). Centro Regional Misiones. **Informe anual 2004**. Misiones, 2004. Disponível em: <<http://www.inta.gov.ar/cerroazul/ins/Memoria%202004%20Centro%20Regional%20Misiones.pdf>> . Acesso em: 14 out. 2007.
- MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P. R. L. Sistemas silvopastoris no Amapá: situação atual e perspectivas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p. 77-99.
- MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J.; BAGGIO, A. J. Estudos econômicos da introdução de mudas altas para sombreamento de pastagens. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1992, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1992. v.1, p.171-191.
- MOSCA, C. El aprovechamiento del recurso suelo en un emprendimiento silvopastoril. **El Observador Agropecuario**, p. 10-11, 23 oct. 1998.
- NOBLE, W. Utilización de pasturas en montes de pinos. In: REUNION TÉCNICA SOBRE SISTEMAS AGROFORESTALES, 1., 1992, Tacuarembó. **Trabajos presentados**. Tacuarembó: Plan Agropecuario, 1992. Também publicado na Revista Plan Agropecuaria n. 61, feb. 1993.
- PEARSON, H. A.; WHITAKER, L. B. Returns from southern forest grazing. **Journal of Range Management**, v. 26, n. 2, p. 85-87, 1973.
- PERI, P. Efecto de la sombra sobre la producción y calidad de pasturas en sistemas silvopastoriles. **SAGPYA Forestal**, n. 13, dic. 1999. Disponível em: <<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/revista13/sagpya13.htm>> . Acesso em: 15 jul. 2003.

PILLAR, V. P.; BOLDRINI, I. I.; LANGE, O. Padrões de distribuição espacial de comunidades campestres sob plantio de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 753-761, 2002.

PLEVICHK, J.; NUÑEZ C.; CANTERO J.; DEMAESTRY M.; VIALE S. Biomasa del pastizal bajo diferentes densidades de pino (*Pinus elliottii*). **Agroforesteria em las Américas**, v. 9, n. 33-34, p. 19-23, 2002.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea + pastagem): uma proposição para aumento da produção do arenito caiuíá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 291-297. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 27).

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; RIBASKI, J. Sistema silvipastoril: integração de competências para a competitividade do agronegócio brasileiro. **Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 48-49, jun./ago. 2006. Setor Celulose & Papel. Edição sobre o fomento florestal brasileiro. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=405>>. Acesso em: 15 jul. 2003.

PURWANTO, B. P.; ABO, Y.; SAKAMOTO, R. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 114, n. 2, p. 139-142, 1990.

RIBASKI, J. **Influência da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW.) DC.) sobre a disponibilidade e qualidade da forragem de capim-búfel (*Cenchrus ciliaris* L.) na região semi-árida brasileira**. 2000. 165 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIBASKI, J.; MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J. Sistemas silvipastoris desenvolvidos na região Sul do Brasil: a experiência da Embrapa Florestas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p. 205-233.

RIBASKI, J.; MATTEI, V. L.; COELHO, R. W.; VARGAS, A. F. C.; RIBASKI, S. A. G. **Sistemas silvipastoris como estratégia de desenvolvimento sustentável para regiões com solos suscetíveis à erosão: um estudo de caso na Mesorregião da Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 150).

SAKURAI, M.; DOHI, H. Thermoregulatory behavior and the skin temperature of grazing cattle. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989, Nice. **Proceedings**. Versailles, The French Grassland Society, 1989. p. 1084-1085.

SÁNCHEZ, M. D. **Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en latinoamérica tropical**. 11 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/>>. Acesso em: 3 fev. 1999. Artículo presentado en la 3ª Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica, 1998.

SARTOR, L. R.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F.; MEZZALIRA, J. Produção de forragem de espécies de inverno em ambiente sombreado. **Synergismus Scientifica**, Curitiba, v. 1, p. 13-21, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; GALVÃO, R.; LONGHI, S. J. Influência do pisoteio de bovinos em áreas florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 19-23, 1978.

SILVA, J. L. S. da. **Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus saligna* Smith. e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul**. 1998, 179 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, J. L. S. da.; SAIBRO, J. C. de.; CASTILHOS, Z. M. S. Situação da pesquisa e utilização de sistemas silvipastoris no Rio Grande do Sul In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p. 257-283.

SOTOMAYOR GARRETON, A.; RIVAS, E. G. **Modelos agroforestales, alternativa productiva para un desarrollo sustentable de la agricultura campesina en Chile**. Disponível em: < www.iufro.org/uploads/media/t1-sotomayo-et-al.doc > . Acesso em 20 ago. 2007.

SOUTO, J. J. **Deserto, uma ameaça?** Porto Alegre. Secretaria de Agricultura, Diretoria Geral, 1984. 169 p.

STUTH, J. W. Foraging behavior. In: HEITSCHMIDT, R. K.; STHUT, J. W. (Ed.). **Grazing management: an ecological perspective**. Portland: Timber Press, 1993. 259 p.

SUERTEGARAY, D. M. A.; BERTE, A. M. A. Políticas de florestamento em áreas degradadas: areais do sudoeste do Rio Grande do Sul. **Geosul**, Florianópolis, v. 26, p. 56-70, 1997.

VARELLA, A. C. **Uso de herbicidas e de pastejo para controle da vegetação nativa no ano do estabelecimento de três densidades de *Eucalyptus saligna* Smith**. 1997. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YUNUSA, I. A. M.; MEAD, D. J.; POLLOCK, K. M.; LUCAS, R. J. Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperate environment: I. water use and light interception in the third year. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 32, p. 163-183, 1995.

Produção de Resina de *Pinus* e Melhoramento Genético

Alexandre Magno Sebbenn, Jarbas Yukio Shimizu, Ananda Virgínia de Aguiar

1. Introdução

A adoção e a domesticação de espécies florestais exóticas para produção comercial no Brasil vêm proporcionando grandes benefícios para o desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões do País, principalmente nas áreas onde as características do solo e clima não são propícias para outras atividades agrícolas (MISSIO et al., 2004).

Dentre as espécies de rápido crescimento que tiveram sucesso como produtoras de madeira, celulose e resina, destacam-se as coníferas do gênero *Pinus*. As plantações comerciais, no Estado de São Paulo, começaram na década de 1960, feitas pelo Instituto Florestal de São Paulo e seguidas por empresas florestais, visando à produção de chapas de aglomerados e laminados, madeira para embalagens, móveis e celulose. Posteriormente, foi iniciada a exploração da resina, seguida de programas de melhoramento genético para aumentar a sua produtividade (MORAES, 2001).

Parte do sucesso do cultivo de pínus, atualmente no Brasil, deve-se aos programas de melhoramento genético visando ao aumento da produtividade e à melhoria da

qualidade dos produtos explorados. As principais características consideradas no melhoramento genético de pínus têm sido o incremento volumétrico, a forma do fuste, a intensidade e a espessura das ramificações, a densidade básica da madeira, o teor de celulose e a produção de resina, com ênfase na adaptabilidade aos ambientes em plantios comerciais.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de breu a partir da goma-resina de pínus, embora responda por apenas 7 % da produção mundial. Atualmente, a produção brasileira é de 106 mil t/ano (ARESB, 2007). Isso corresponde a um faturamento de US\$57 milhões, incluindo o produto *in natura* e os derivados da sua destilação como o breu e a terebintina. O preço da resina bruta, embora oscile anualmente, tem sido crescente nos últimos anos. Em 2003, era de US\$241,00/t, chegando a US\$539,00/t em 2006.

Os estados brasileiros produtores de resina de pínus são Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Tocantins. São Paulo é o maior produtor, gerando, anualmente, 43 mil t de resina de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e 2 mil t de resina de pínus tropicais, principalmente *Pinus caribaea* var. *bahamensis*,

P. caribaea var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. oocarpa* e *P. tecunumanii*. Em Minas Gerais, produz-se 23 mil t/ano e, no Rio Grande do Sul, 19 mil t/ano.

A liderança do Estado de São Paulo na produção de resina se deve às grandes extensões dos povoamentos de pinus, especialmente *P. elliottii* var. *elliottii* e os programas de melhoramento genético que possibilitaram grandes avanços na produtividade comercial. Além dessa espécie, *P. caribaea* var. *bahamensis* também figura como grande produtora de resina no estado. A produtividade de resina varia amplamente, desde menos de 1 kg/árvore.ano até mais de 8 kg/árvore.ano entre árvores individuais.

Visto que a herdabilidade da produção de resina varia de média a alta ($h_i^2 = 0,20-0,60$) (ROMANELLI, 1988; GURGEL GARRIDO; KAGEYAMA, 1993; GURGEL GARRIDO et al., 1999a; SHIMIZU; SPIR, 1999; ROMANELLI; SEBBENN, 2004), existe perspectiva de aumento substancial na sua produtividade, mediante seleções e cruzamentos seletivos, explorando-se as variações entre espécies, procedências e indivíduos dentro de procedências.

Os programas de melhoramento genético para a produção de resina, no Estado de São Paulo, têm proporcionado um aumento na produtividade de até 60 % (ROMANELLI, 1995). Nos Estados Unidos, também, há relatos de sucessos em programas de melhoramento para essa característica (SQUILLACE, 1966). Além disso, as pesquisas têm mostrado que é fácil melhorar, simultaneamente, para alta produção de resina e outras características favoráveis como forma de fuste e caracteres de crescimento em *Pinus*.

2. Resina e Resinagem

A resina de pinus é uma secreção formada especialmente nos canais resiníferos das plantas da família Pinaceae. Ela tem várias funções, inclusive como a de cicatrizante de ferimentos, proteção contra ataque de insetos e fungos, além de possibilitar a eliminação de acetatos. Em seu estado flexível, ela é conhecida como óleo-resina (caso de pinus). Quando contém ácido benzóico ou ácido cinâmico, ela é chamada de bálsamo.

A destilação da resina de pinus resulta em uma fração volátil denominada terebintina e uma fixa conhecida como breu. A terebintina é utilizada como solvente de tintas e como matéria-prima na indústria química e farmacêutica. O breu é utilizado na fabricação de tintas, vernizes, plásticos, lubrificantes, adesivos, inseticidas e germicidas. Uma de suas utilizações mais importantes é na fabricação de cola de breu, de uso generalizado na indústria de papel (BRITO et al., 1978).

A exploração comercial da resina se inicia em árvores com oito a dez anos de idade e segue até aproximadamente 30 anos ou mais. No Brasil, todo o processo de extração da resina é manual. Inicialmente, raspa-se a camada externa da casca à altura de aproximadamente 20 cm do solo, numa área (painel) de 60 cm de altura por 15 cm a 20 cm de largura. Nessa área, faz-se uma estria, removendo-se uma faixa da casca até expor o tecido cambial. Nessa estria, aplica-se uma pasta ácida, composta de ácido sulfúrico, água e farelo de arroz, para impedir a cicatrização dos canais resiníferos. A resina escorre pela estria e é coletada em uma bolsa plástica, previamente fixada com fios de arame (Figura 1). Quinzenalmente, são feitas estrias sucessivas

para ativar novos canais resiníferos. As bolsas plásticas onde a resina é coletada são mantidas com um pouco de água para evitar a volatilização da terebintina. A extração da resina (resinagem) se processa na seguinte seqüência (GARRIDO et al., 1998):

- Escolha da árvore: como a produção de resina está diretamente relacionada ao diâmetro da árvore, deve-se escolher aquelas com, pelo menos, 15 cm de diâmetro no tronco a 20 cm de altura do solo;

- Limpeza do tronco onde será instalado o painel: utilizando-se de um raspador de casca, faz-se o nivelamento na casca, procurando-se deixar uma superfície lisa, sem ferimento no lenho;

- Formação do "bigode": faz-se uma incisão na casca da árvore para a fixação da bolsa plástica para a coleta da resina;

- Colocação do coletor: a bolsa plástica é fixada com arame, de maneira que não permita o escoamento da resina entre a bolsa e a casca da árvore;

- Estriagem: consiste em um corte, usando-se um ferro estriador, para remover a casca até a região do câmbio vascular, expondo, assim, os canais resiníferos. Em geral, a estria é feita com 2 cm a 3 cm de largura e de comprimento que depende do tamanho da bolsa coletora e do diâmetro da árvore. A estriagem é iniciada em meados de setembro ou quando a temperatura começa a aumentar e prossegue até o final de maio. Atualmente, muitos produtores estriam durante quase o ano todo;

- Estimulação química: o fluxo da resina é estimulado mediante aplicação de uma pasta ácida, com o auxílio de uma bisnaga (pisseta).



Figura 1. Painel de resinagem com estrias sucessivas e bolsa coletora fixada com fio de arame.
Foto: Jarbas Yukio Shimizu.

3. Espécies de *Pinus* para Resinagem

Dentre mais de uma centena de espécies de *Pinus*, as mais indicadas para extração de resina são: *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. hartwegii*, *P. kesiya*, *P. leiophylla*, *P. maximinoi*, *P. merkusii*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. palustris*, *P. patula*, *P. pinaster*, *P. ponderosa*, *P. pseudostrobus*, *P. roxburghii*, *P. tecunumanii* e *P. sylvestris*. Porém, nem todas são capazes de se adaptar às condições ecológicas (climáticas e edáficas) do Brasil. *Pinus elliottii* é a espécie mais plantada para esse propósito, tanto no Brasil quanto nos

Estados Unidos. Ela oferece a mais alta produção de goma-resina e de maior valor no mercado devido ao alto teor de pineno. Nas regiões tropicais, destacam-se *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P.*

caribaea var. *hondurensis*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi* e *P. tecunumanii* como as mais importantes para a produção de madeira e resina (Figura 2).

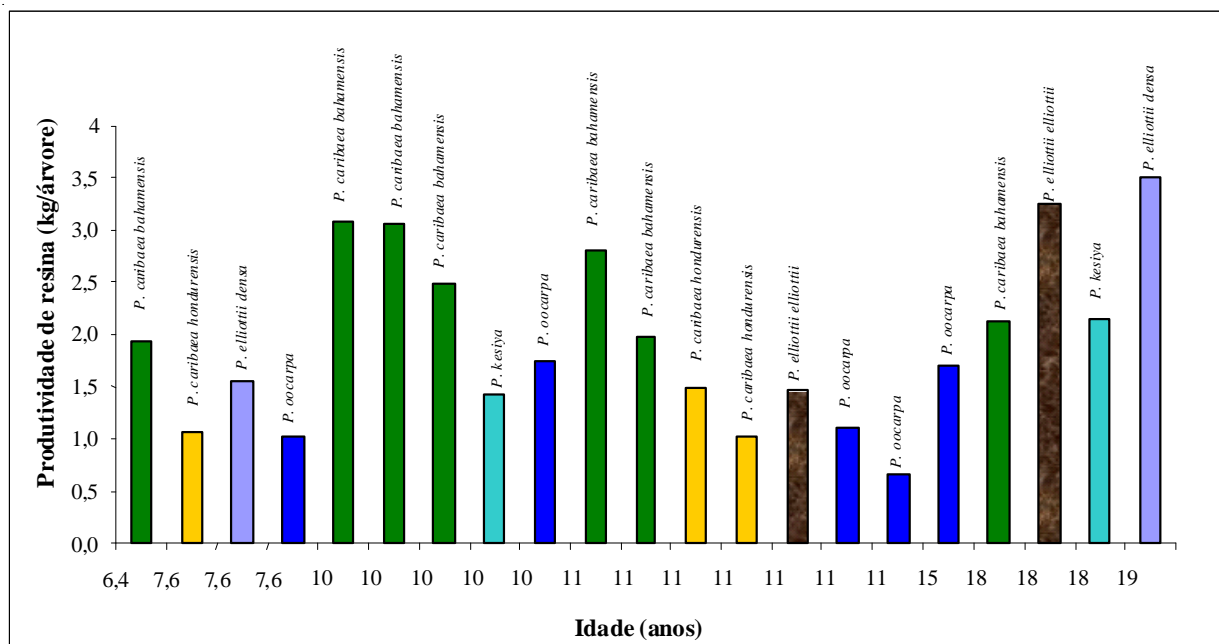


Figura 2. Potencial resinero (kg/árvore.ano) de diversas espécies de pínus (BRITO et al., 1978; BERTOLANI; NICOLIELO, 1978; CAPITANI et al., 1980; GURGEL GARRIDO et al., 1982; GURGEL GARRIDO et al., 1983; 1996; RIBAS et al., 1983).

À semelhança das demais espécies de coníferas, os pínus são polinizados pelo vento. O grão de pólen de pínus é transportado por grandes distâncias, favorecido pelo tamanho reduzido e pela presença de sacos de ar que facilitam a flutuação. O sistema de reprodução em pínus é bissexual monóico (estruturas reprodutivas masculinas e femininas produzidas na mesma planta, mas, em estróbilos ("flores") distintos (Figura 3). Em geral, na parte superior da copa, as "flores" são femininas e, na parte inferior, masculinas. Esta distribuição é, provavelmente, parte do

mecanismo natural para minimizar a autofecundação.

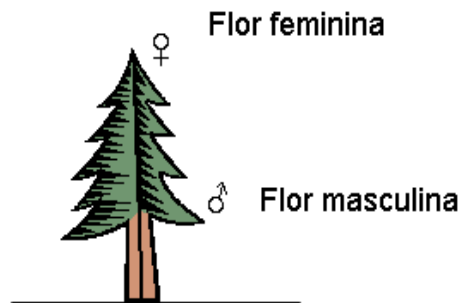


Figura 3. Localização das "flores" de cada sexo em pínus.

O sistema de reprodução das espécies da família Pinaceae é, geralmente, misto. A reprodução pode ocorrer tanto por cruzamento entre indivíduos distintos quanto por autofecundação, embora haja um predomínio de reprodução cruzada.

A média das estimativas da taxa de cruzamento em 28 espécies do gênero *Pinus* (Figura 4) é de 88 % e 12 % de autofecundação. Estudos em populações naturais têm revelado, também, a ocorrência de cruzamentos entre indivíduos aparentados (CHANGTRAGOON; FINKELDEY, 1995; MITTON et al., 1997; ZHENG; ENNOS, 1997; LEDIG et al., 2001; ROBLEDO-ARNUNCIO et al., 2004), indicando a ocorrência de estrutura genética espacial em que indivíduos localizados espacialmente próximos têm maior probabilidade de serem parentes. A causa disso, em populações naturais, é a

predominância da dispersão de sementes por pequenas distâncias, levando à maior frequência de regeneração próxima à árvore matriz.

Tem-se observado que uma fração importante dos cruzamentos em populações naturais é correlacionada (MITTON et al., 1997; LEDIG et al., 2001; ROBLEDO-ARNUNCIO et al., 2004), de maneira que, parte das sementes produzidas é aparentada no grau de irmãos-completos. Autofecundações, cruzamentos entre parentes e cruzamentos correlacionados produzem desvios em relação aos cruzamentos aleatórios e promovem aumento na endogamia das gerações subseqüentes. Se uma árvore não for endogâmica ($F = 0$), a sua autofecundação gera, no mínimo, 50 % de endogamia nos descendentes.

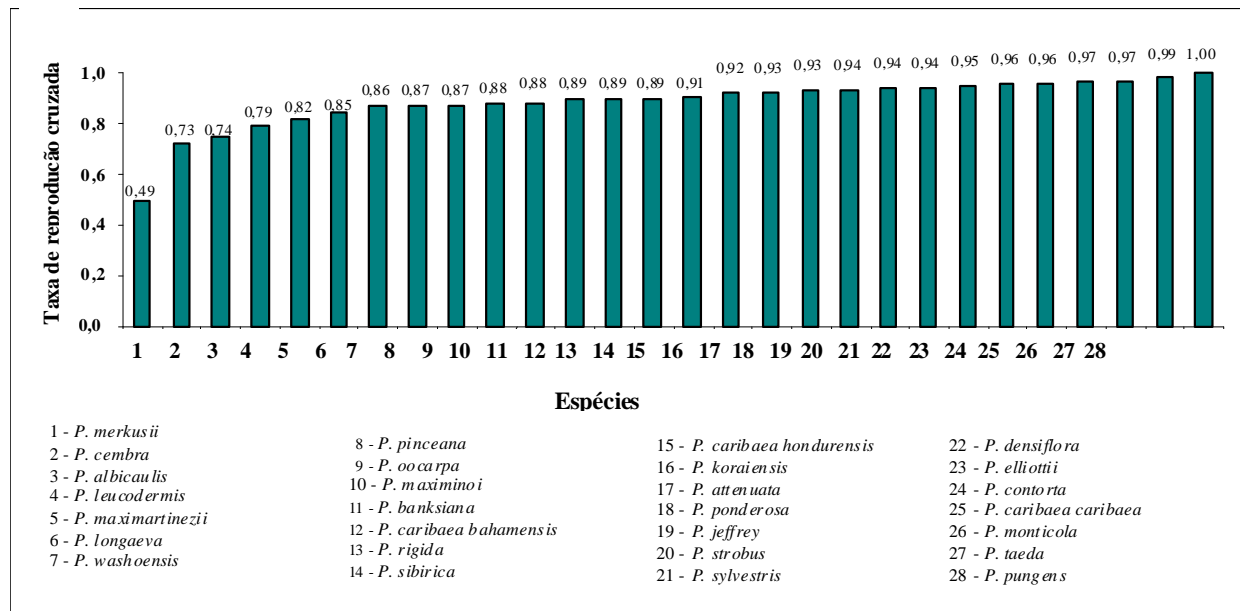


Figura 4. Estimativas da taxa de reprodução cruzada em espécies de *Pinus*, a partir de dados de marcadores genéticos (isoenzimas e microssatélites).

O cruzamento entre indivíduos aparentados gera endogamia biparental igual ao coeficiente de coancestria entre os parentais cruzados. Assim, progênies ou sementes coletadas de polinização aberta de uma árvore serão compostas por uma mistura de parentescos como irmãos de autofecundação, irmãos-completos e meios-irmãos. Portanto, o tamanho efetivo nas sementes é menor do que o esperado por cruzamentos aleatórios, pois progênies de polinização aberta não geram, exclusivamente, meios-irmãos como se pressupõe muitas vezes. Assim, para se estimar parâmetros genéticos, deve-se considerar um grau de parentesco maior entre os descendentes. Em vista disso, Bridgwater (1992) sugeriu utilizar o coeficiente de parentesco (r_{xy}) entre plantas dentro de progênies de 0,33 ao invés de 0,25, para corrigir as estimativas de parâmetros genéticos e de ganhos na seleção.

4. Melhoramento Genético de Pínus para Produção de Resina

Apesar da sua ampla distribuição geográfica, experiências com *P. elliottii*, no Brasil, não têm demonstrado variação significativa entre origens geográficas das sementes quanto aos caracteres de crescimento (FONSECA, 1978; ARAÚJO, 1980). Em contraste, Rockwood et al. (2001) detectaram variações significativas entre procedências em volume, tanto no Brasil quanto na Argentina. Porém, não existem informações deste tipo quanto à produtividade de resina de *P. elliottii*.

4.1. Herdabilidade

Em *P. caribaea* var. *bahamensis*, foi detectada, em Paraguaçu Paulista, Estado de

São Paulo, variação genética entre origens das sementes quanto à produção de resina (GURGEL GARRIDO et al., 1999b). Altas variações genéticas entre progênies têm sido detectadas nos caracteres de crescimento e produção de resina em *P. elliottii* e *P. caribaea* var. *bahamensis* (ROMANELLI, 1988; GURGEL GARRIDO; KAGEYAMA, 1993; GURGEL GARRIDO et al., 1999a; SHIMIZU; SPIR, 1999; ROMANELLI; SEBBENN, 2004). Estimativas de parâmetros genéticos em testes de progênies de *P. elliottii* têm revelado que a produção de resina é de herdabilidade moderada a alta (SQUILLACE; GANSEL, 1968; SQUILLACE; BENGTON, 1961?; SQUILLACE, 1966; PETERS, 1971; TADESSE et al., 2001; ROBERDS et al., 2003), podendo ser maior que 60 %, com coeficiente de variação genética maior que 10 %. Isso tem proporcionado estimativas de ganhos genéticos de até 60 % (ROMANELLI, 1995; GURGEL GARRIDO et al., 1999a), mediante seleção de matrizes.

4.2. Correlação entre caracteres

A avaliação da produtividade de resina de árvores individuais é uma operação trabalhosa e sujeita a muitos erros. Portanto, se houvesse uma forma indireta de seleção, com base em uma variável mais fácil e de maior precisão para ser avaliada, o trabalho de melhoramento genético da produtividade de resina seria mais simplificado. Para isso, é necessário que haja correlação genética entre alguma variável de fácil avaliação com a produtividade de resina. Estudos têm revelado valores positivos, mas altamente variáveis, nas correlações genéticas entre caracteres de crescimento com a produtividade de resina, desde praticamente nula ($r_g = 0,05$) até alta ($r_g = 0,69$) (GURGEL GARRIDO; KAGEYAMA, 1993; ROMANELLI;

SEBBENN, 2004; ROBERDS et al., 2003). Isto sugere que, algumas vezes, é possível selecionar indivíduos com grande mérito genético na produtividade de resina com base nas suas características de crescimento, obtendo-se, assim, ganhos genéticos indiretos substanciais na produtividade de resina.

4.3. Interação genótipo-ambiente para produção de resina

A despeito da importância da interação genótipo-ambiente no melhoramento florestal, existem poucos estudos nesse aspecto, quanto à produtividade de resina. Interações significativas na produtividade de resina, em progênies de polinização livre de *P. elliotii*, com os locais de plantio (Itapeva, Itapetininga e Angatuba, no Estado de São Paulo), têm sido observadas, aos 12 anos de idade (ROMANELLI; SEBBENN, 2004). Neste caso, a seleção individual por local foi sugerida como a mais indicada, em um esquema de melhoramento de multipopulações em que genótipos específicos são selecionados para cada ambiente para maximizar os ganhos genéticos.

4.4. Seleção precoce

Estudos com *P. elliotii* têm revelado correlações genéticas entre a fase juvenil (3,5 anos) e a idade de exploração na produção de resina, variando de 0,57 a 0,91, sugerindo a possibilidade da seleção precoce (GURGEL GARRIDO et al. 1993; 1994). Da mesma forma, foram relatadas correlações entre as idades de 4 e 12 anos, variando de 0,39 a 0,85 (ROMANELLI; SEBBENN, 2004). Estimativas de respostas correlacionadas em *P. elliotii* entre idades têm mostrado a possibilidade da aplicação de seleções precoces para o melhoramento genético da

produção de resina (GURGEL GARRIDO et al. 1993). Contudo, as estimativas de ganhos genéticos tenderam à redução, à medida que se aumentou a diferença entre a idade de seleção e a da exploração (GURGEL GARRIDO et al. 1993).

4.5. Clonagem

A clonagem é uma ferramenta muito importante em programas de melhoramento florestal e pode ser usada para aumentar a produção de resina de pínus. Ela pode ser usada tanto para a multiplicação vegetativa de árvores geneticamente superiores, para uso em plantios comerciais, quanto para o estabelecimento de pomares de sementes. No caso do emprego de clonagem para plantios em grande escala, é importante ressaltar que o objeto da clonagem é a árvore selecionada e não as plântulas originadas de suas sementes. Mesmo que a árvore matriz seja superior, suas sementes não serão, necessariamente, superiores, pois podem ter sido geradas por fecundação com pólenes de indivíduos de baixo valor genético para as características desejadas.

A clonagem de pínus pode ser feita por micropropagação, estaquia ou enxertia. A enxertia é mais utilizada para o estabelecimento de pomares clonais, normalmente por garfagem no topo, visando obter florescimento precoce e produção de sementes melhoradas, no prazo mais curto possível. Porém, plantios comerciais com propágulos vegetativos dependem da eficiência da clonagem e isso envolve a estaquia ou a micropropagação, incluindo tecnologias em rápida expansão como a embriogenia somática. Exceto em espécies como *P. radiata* e *P. patula*, a clonagem de

pínus por micropopagação ou por estaquia é um grande problema devido à dificuldade de enraizamento.

4.6. Hibridação

A hibridação interespecífica é uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada no melhoramento florestal e seu êxito depende da compatibilidade entre as espécies envolvidas. No gênero *Pinus*, existem evidências de hibridações naturais entre várias espécies como, por exemplo, *P. montezuma* x *P. oaxacana*, *P. ponderosa* x *P. jeffreyi*, *P. ponderosa* x *P. washoensis*, *P. ponderosa* x *P. engelmannii*, *P. strobus* x *P. monticola*, *P. ponderosa* x *P. arizonica* (MIROV, 1967) e *P. taeda* x *P. palustris* (DORMAN, 1976). Todas as espécies do gênero apresentam o mesmo número de cromossomos, $n = 12$ e $2n = 24$ (MIROV, 1967) e similaridade na sua morfologia (SANTAMOUR, 1960). Essa é uma característica que facilita a hibridação interespecífica.

Estudos citológicos de híbridos F_1 de várias espécies de *Pinus* (*P. griffithii* x *P. strobus*; *P. griffithii* x *P. parviflora*; *P. parviflora* x *P. strobus*; *P. holfordiana* x *P. parviflora*) têm revelado a ocorrência de meiose aproximadamente normal, gerando indivíduos vigorosos de alta fertilidade (SAX, 1960). Uma das grandes vantagens da hibridação interespecífica é a possibilidade de explorar a heterose ou o vigor dos híbridos. Este é o oposto da: a) depressão por endogamia, que resulta da homozigose de alelos idênticos por descendência, cuja freqüência aumenta em decorrência de cruzamentos entre indivíduos aparentados e por autofecundações; e b) depressão por exogamia, que resulta do cruzamento entre indivíduos cujos genomas

sejam muito divergentes, ao ponto de dificultar o pareamento dos alelos. Híbridos gerados de cruzamentos desse tipo, normalmente, resultam em indivíduos defeituosos, de baixo vigor e desempenho.

Heterose refere-se ao desempenho maior dos híbridos em relação à média de seus parentais. Como exemplos de híbridos de *Pinus* de grande importância econômica citam-se o cruzamento entre *P. nigra* e *P. resinosa* (DUFFIELD; SNYDER, 1958), assim como o híbrido entre *P. elliotii* e *P. caribaea* na Austrália (NIKLES, 1964) e o de grande resistência ao frio e rápido crescimento, utilizado na Coréia do Sul, resultante do cruzamento entre *P. taeda* e *P. rigida* (HYUN, 1976).

A maioria dos sucessos na hibridação em pínus tem sido obtida pela combinação de espécies da mesma subseção taxonômica. Por exemplo, *P. elliotii* var. *elliotii* com espécies de pínus tropicais (*P. caribaea*, *P. tecunumanii* e *P. oocarpa*), que pertencem à mesma subseção *Australes* (WRIGHT, 1976). Como estas espécies são produtoras de resina, existe a oportunidade para se obter híbridos que combinem as características de alta produtividade e qualidade de resina com rápido crescimento e adaptação aos diferentes tipos de ambientes. No entanto, existem, também, evidências de incompatibilidade entre espécies, como no caso de *P. caribaea* x *P. nigra*, *P. rigida* x *P. resinosa*, *P. nigra* x *P. rigida* e *P. rigida* x *P. elliotii*. Isso tem sido atribuído, em alguns casos, à inabilidade de o tubo polínico chegar ao óvulo (MIROV, 1967).

A hibridação interespecífica pode trazer grandes progressos genéticos em programas de melhoramento para a produção de resina.

Por exemplo, entre as espécies com destaque na produção de resina, tem-se *P. elliottii* e *P. caribaea* var. *bahamensis*. A primeira produz maior quantidade e melhor qualidade de resina do que a segunda. Porém, *P. elliottii* tem crescimento menor que *P. caribaea* var. *bahamensis*. Portanto, o híbrido *P. elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* pode dar origem a indivíduos que combinem alta qualidade e quantidade de resina com rápido crescimento, além da capacidade de crescer bem em ambientes propícios para cada uma das espécies parentais. Para se obter isso, primeiramente, é necessário selecionar, de cada espécie, árvores superiores em termos de produtividade de resina e, posteriormente, fazer cruzamentos controlados para gerar os híbridos.

4.7. Estratégias de melhoramento genético para produção de resina

A maioria das espécies de pínus plantadas para produção de resina, no Brasil, já apresenta algum grau de domesticação. Em muitos casos, já se conhecem as espécies mais indicadas, em termos de crescimento, nas diversas regiões brasileiras. No entanto, praticamente não há informação quanto às variações entre procedências na produtividade de resina.

Uma estratégia para se avançar rapidamente na produtividade de resina é a seleção massal nos próprios plantios comerciais. Grande variação fenotípica individual na produção de resina tem sido observada em plantios comerciais, em especial nas espécies tropicais. Esta variação é a base do melhoramento florestal e pode ser explorada mediante seleção de matrizes. A herdabilidade de magnitude moderada a alta

indica que grande parte da variação fenotípica observada entre plantas é de natureza genética e pode ser explorada mediante seleção de matrizes.

Existem diversos relatos de êxito no melhoramento genético da produtividade de resina (SQUILLACE, 1966). Estudos têm mostrado que árvores de alta produtividade de resina geram descendentes, também, altamente produtivas, chegando a produzir 66 % mais resina do que as descendentes de matrizes de produtividade mediana (McREYNOLDS; GANSEL, 1985). Isso evidencia a eficiência da seleção de matrizes na transferência do caráter para a geração seguinte. A rápida resposta sugere que o número de genes envolvido no controle da produtividade de resina seja pequeno e de grande efeito.

Evidências de correlação genética positiva e significativa entre a produção de resina e os caracteres de crescimento (ROBERDS et al., 2003; GURGEL GARRIDO; KAGEYAMA, 1993; ROMANELLI; SEBBENN, 2004) mostram que existe possibilidade de seleção indireta, com perspectivas de ganhos na produtividade de resina, mediante seleção de matrizes de maior crescimento. Assim, sugerem-se duas formas alternativas para o melhoramento da produtividade de resina:

a) Esquema clássico

O esquema clássico é baseado na seleção massal (seleção de matrizes em povoamentos comerciais, seguida da coleta de sementes de polinização livre e de propágulos vegetativos) para a implantação simultânea de um teste de progênies e de um pomar clonal não testado (Figura 5). O teste de progênies

servirá para se estimar o valor genético das matrizes. Com base nessa informação, efetua-se a seleção genética no pomar, transformando-o em um pomar clonal testado. Com base nos resultados do teste de progênies, selecionam-se, no próprio teste, as progênies e indivíduos de maior valor. A

remoção de famílias (progênies) inteiras e de árvores não selecionadas permite transformar o teste de progênies em um pomar de sementes por mudas. Tanto as sementes produzidas no pomar clonal testado quanto no pomar por mudas poderão ser usadas diretamente para os plantios comerciais.

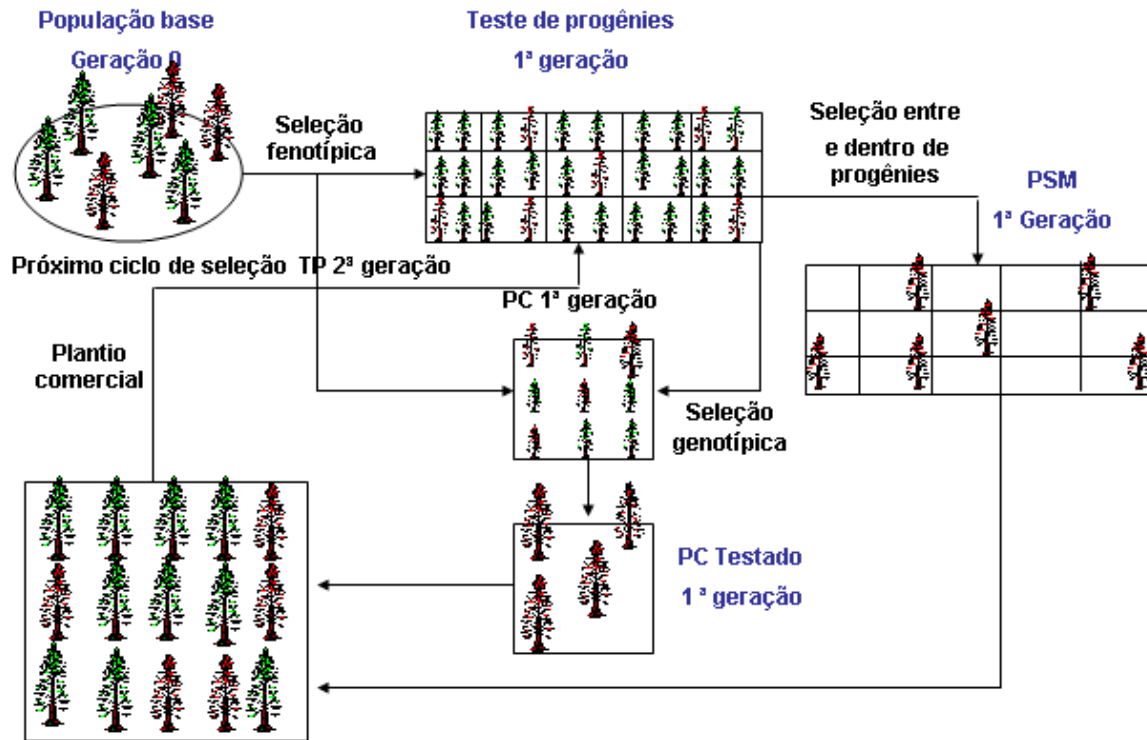


Figura 5. Esquema clássico de seleção no melhoramento de *Pinus*, para produção de resina.

Os povoamentos estabelecidos com a finalidade de exploração de resina têm, também, outras formas de utilização. Normalmente, após o período de resinagem, as árvores são abatidas para o aproveitamento da madeira. Por isso, é necessário que os programas de melhoramento da produtividade de resina sejam implementados procurando-se combinar essa característica com o rápido crescimento e a forma de fuste (fuste reto) (SEBBENN, 2005). Uma proposta recente é a estratégia que inclui a seleção de árvores superiores em níveis independentes para fuste reto e alta produtividade de resina, baseado em três fases: *i*) identificação de árvores possivelmente superiores; *ii*) pré-seleção, e *iii*) seleção de árvores superiores.

b) Cruzamentos controlados

As árvores envolvidas nos cruzamentos controlados são identificadas na seleção massal. Os cruzamentos controlados são efetuados entre as árvores selecionadas, no próprio povoamento comercial. Com as sementes originadas desses cruzamentos, implantam-se testes de progênies de polinização controlada (Figura 6). Esperam-se ganhos genéticos maiores neste esquema do que no esquema clássico, visto que poderão ser determinadas as melhores combinações entre os parentais. Neste esquema de seleção, exploram-se tanto a capacidade geral de combinação quanto a capacidade específica que incorpora as variâncias genéticas aditiva e não-aditiva.

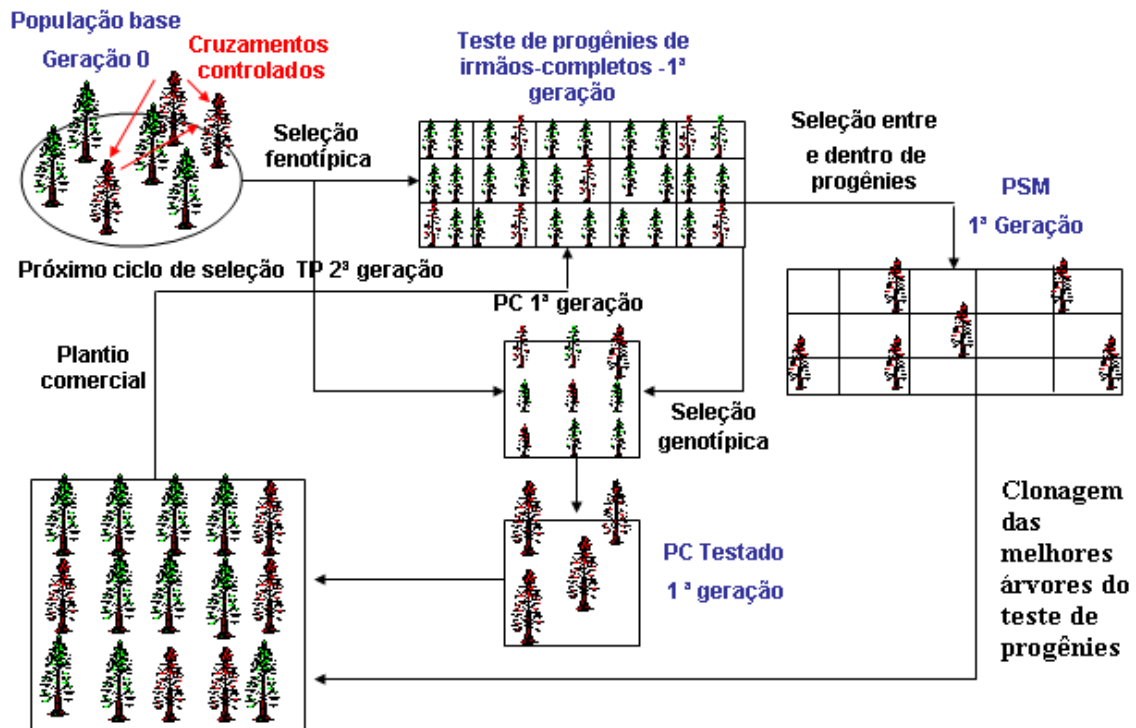


Figura 6. Esquema de seleção em *Pinus* para o melhoramento da produção de resina, com base em cruzamentos controlados entre matrizes, diretamente na população base.

Para efeito de ilustração, pode-se tomar como exemplo a produção hipotética de resina de um plantio comercial composto por apenas nove árvores (Figura 7). Neste exemplo, a produtividade de resina, no âmbito individual, varia de 0,8 até 7,2 kg/árvore.ano, com média de 3 kg/árvore.ano e desvio padrão de $\pm 2,5$. A seleção poderia ser realizada usando-se a medida de um desvio padrão maior que a média ($3 + 2,5 = 5,5$ kg/árvore.ano) como limite, de maneira que seriam selecionadas as árvores **6** (6,4 kg/árvore.ano), **8** (5,6 kg/

árvore.ano) e **9** (7,2 kg/árvore.ano) para participarem dos cruzamentos controlados em que cada matriz é cruzada com todas as demais, inclusive em cruzamentos recíprocos. Com um esquema balanceado, poderão ser determinados não só os melhores pares de cruzamentos, mas também, se o desempenho de uma árvore seria melhor como polinizadora ou como produtora de sementes. Adicionalmente, as progênies geradas com os melhores cruzamentos poderão ser clonadas e utilizadas nos plantios comerciais.

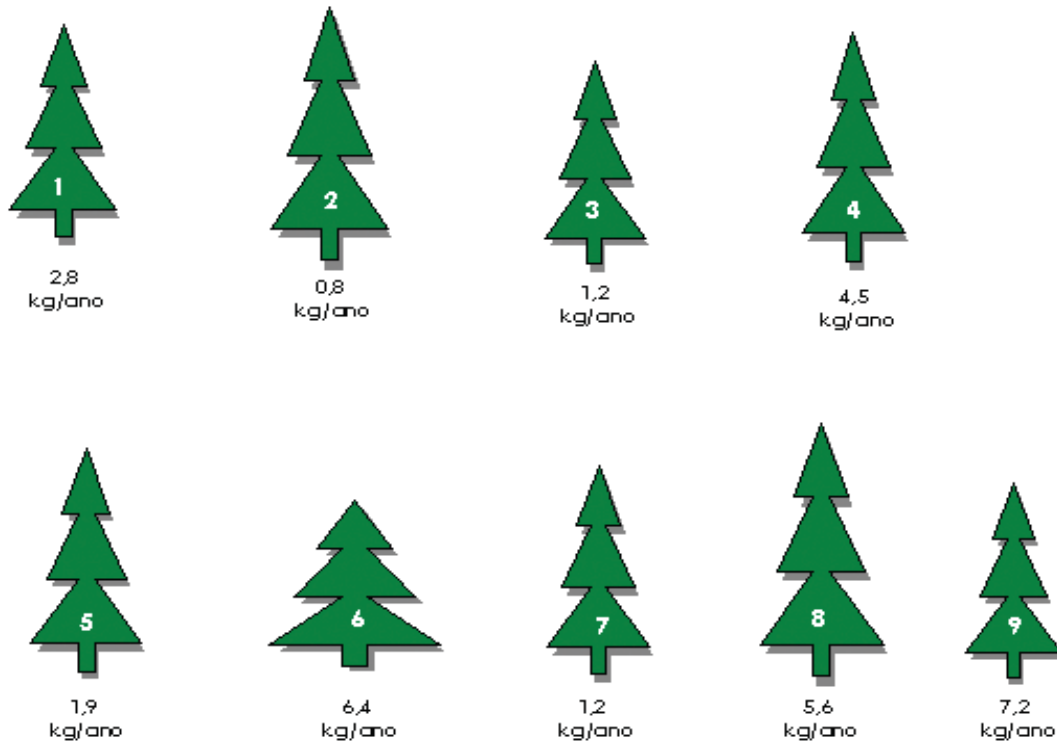


Figura 7. Representação hipotética da produtividade individual de resina em um povoamento de *Pinus*.

5. Referências

ARAÚJO, A. J. **Early results of provenance studies of loblolly and slash pines in Brazil.** 1980. 115 f. Thesis (Ph.D.) - Dept. of Forestry, Michigan State University, East Lansing.

ASSOCIAÇÃO DOS RESINADORES DO BRASIL. **ARESB:** [home page]. Disponível em: <<http://www.aresb.com.br>>. Acesso em: 1 set. 2007.

- BERTOLANI, F.; NICOLIELO, N. Performance and tree improvement programme of tropical pines in the region of Agudos, SP, Brazil. In: NIKLES, D. G.; BURLEY, J.; BARNES, R. D. **Progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees**. Oxford: CFI: 1978. v. 2, p. 808-818.
- BRIDGWATER, F. Mating designs. In: FINS, L.; FRIEDMAN, S. T.; BROTSCHOL, J. V. **Handbook of quantitative forest genetics**. London: Kluwer Academic Publ., 1992. p. 69-95.
- BRITO, J. O.; BARRICHELLO, L. E. G.; TREVISAN, J. F. Condições climáticas e suas influências sobre a produção de resinas de pinheiros tropicais. **IPEF**, n. 16, p. 37-45, 1978.
- CAPITANI, L. R.; SPELTZ, G. E.; BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. A potencialidade de resinagem de quatro espécies de *Pinus* tropicais, na região de Sacramento – MG. **IPEF. Circular Técnica**, Piracicaba, n. 110, p. 1-10, 1980.
- CHANGTRAGOON, S.; FINKELDEY, R. Patterns of genetic variation and characterization of the mating system of *Pinus merkusii* in Thailand. **Forest Genetics**, v. 2, p. 87-97, 1995.
- DORMAN, K. W. **The genetics and breeding of southern pines**. Washington, D.C.: USDA, Forest Service, 1976. 407 p. (USDA. Agriculture Handbook, 471).
- DUFFIELD, J.; SNYDER, B. Benefits from hybridizing American forest trees. **Journal of Forestry**, v. 58, p. 809-815, 1958.
- FONSECA, S. M. Síntese do programa de melhoramento florestal que vem sendo conduzido pelo IPEF-Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, na Região Sul do Brasil. **Silvicultura em São Paulo**, v. 2, p. 241-244, 1978.
- GARRIDO, M. A. O.; DAL POZ, R.; FEITAS, J. A.; ROCHA, F. T.; GURGEL GARRIDO, L. M. A. **Resinagem**: manual técnico. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente: Instituto Florestal, 1998. 23 p.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; GARRIDO, M. A. O.; KAGEYAMA, P. Y. Teste de progênies precoce de meios-irmãos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. de árvores superiores para a produção de resina. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 20/22, p. 31-39, 1986/88.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; ROMANELLI, R. C.; GARRIDO, M. A. O. Variabilidade genética de produção de resina, DAP e altura em *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et. Golf. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 8, p. 89-98, 1996.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; CRUZ, S. F.; RIBAS, C. Interação genótipos por locais em *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 11, p. 1-12, 1999a.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; GARRIDO, M. A. O.; PIRES, C. L. S.; PALOMO, M. Variação genética em progênies e procedências de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. para produção de resina e características de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, v. 11, p. 105-121, 1999b.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; KAGEYAMA, P. Y. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm., selecionados para a produção de resina. **Revista do Instituto Florestal**, v. 5, p. 21-37, 1993.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; RIBAS, C.; GARRIDO, M. A. O. Variabilidade da produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Revista do Instituto Florestal**, v. 6, p. 113-128, 1994.
- HYUN, S. K. Interspecific hybridization in pines with special reference to *P. rigida* x *taeda*. **Silvae Genetica**, v. 25, n. 5-6, p. 188-191, 1976.
- LEDIG, F. T.; MIGUEL, A.; CAPÓ-ARTEAGA, A.; HODGSKISS, P. D.; SBAY, H.; FLORES-LÓPEZ, C.; CONCKLE, M. T.; BERMEJO-VALÁZQUEZ, B. Genetic diversity and the mating system of a rare mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). **American Journal of Botany**, Oklahoma, v. 88, n. 11, p. 1977-1987, 2001.
- McREYNOLDS, R. D.; GANSEL, C. R. High-gum-yielding slash pine: performance to age 30. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 9, p. 29-32, 1985.
- MIROV, N. T. **The genus Pinus**. New York: The Ronald Press Company, 1967. 638 p.
- MISSIO, R. F.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; PAULA, R. C. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 161-166, 2004.

- MITTON, J. B.; LATTA, R. G.; REHFELDT, G. E. The pattern of inbreeding in washoe pine and survival of inbred progeny under optional environmental conditions. **Silvae Genetica**, v. 46, p. 215-219, 1997.
- MORAES, M. L. T. **Variação genética e aplicação de análise multivariada em progênes de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barret e Golfari**. 2001. Tese (Livro Docência em Silvicultura) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.
- NIKLES, D. G. Cross progenies of *P. elliottii* x *P. caribaea*. **Australian Forest Research**, v. 1, p. 32-33, 1964.
- PETERS, W. J. Variation in oleoresin yielding potential of selected slash pines. **Forest Science**, v. 17, n. 3, p. 306-307, 1971.
- RIBAS, C.; GURGEL GARRIDO, L. M. A.; GARRIDO, M. A. O.; ASSINI, J. L.; ROCHA, A. D. Resinagem de *Pinus* – comparação entre técnicas operacionais e estimulantes químicos. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, v. 38, n. 1, p. 35-46, 1984.
- ROBERDS, J. H.; STROM, B. L.; HAIN, F. P.; GWAZE, D. P.; McKEAND, S. E.; LOTT, L. H. Estimates of genetic parameters for oleoresin and growth traits in juvenile loblolly pine. **Canadian Journal Forest Research**, v. 33, p. 2469-2476, 2003.
- ROBLEDO-ARNUNCIO, J. J.; E SMOUSE, P. E.; GIL, L.; ALÍA, R. Pollen movement under alternative silvicultural practices in native population of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in central Spain. **Forest Ecology and Management**, v. 197, p. 245-255, 2004.
- ROCKWOOD, D. L.; HUBER, D. A.; WHITE, T. L. Provenance and family variability in slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.) grown in southern Brazil and northeastern Argentina. **New Forest**, v. 21, n. 2, p. 115-125, 2001.
- ROMANELLI, R. C. Seleção precoce em progênes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 7, p. 101-103, 1995.
- ROMANELLI, R. C. **Variabilidade genética para produção de resina associada às características de crescimento em uma população de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. na região de Itapetinga-SP**. 1988. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ROMANELLI, R. C.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no Sul do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, p.11-23, 2004.
- SANTAMOUR Jr., F. S. New chromosome counts in *Pinus* and *Picea*. **Silvae Genetica**, v. 9, p. 87-88, 1960.
- SAX, K. Meiosis in interspecific pine hybrids. **Forest Science**, v. 6, p. 135-138, 1960.
- SEBBENN, A. M. Método para a seleção de árvores superiores para forma do fuste e produção de resina em plantios comerciais de *Pinus sp.* **IF Série Registros**, São Paulo, n. 28, p. 1-11, jan. 2005.
- SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. Seleção de *Pinus elliottii* pelo valor genético para alta produção de resina. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 38, p. 103-117, 1999.
- SQUILLACE, A. E. Combining superior growth and timber quality with high gum yield in slash pine. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah. **Proceedings**. [S.l.: s.n. 1966]. p. 73-76. Disponível em: < <http://www.rngr.net/Publications/sftic> >. Acesso em: 1 set. 2007.
- SQUILLACE, A. E.; BENGTON, G. W. Inheritance of gum yield and other characteristics of slash pine. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 6., 1961, Gainesville. **Proceedings**. [S.l.: s.n. 1961]. p. 85-96. Disponível em: < <http://www.rngr.net/Publications/sftic> >. Acesso em: 1 set. 2007.
- SQUILLACE, A. E.; GANSEL, C. R. **Assessing the potential oleoresin yields in slash pine progenies at juvenile ages**. Asheville: USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1968. 3 p. (USDA. For. Serv. Res. Note SE-95). Disponível em: < http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rn/rn_se095.pdf >. Acesso em 1 set. 2007.
- TADESSE, W.; NANOS, N.; AUÑON, F. J.; ALÍA, R.; GIL, L. Evaluation of high resin yielders of *Pinus pinaster* Ait. **Forest Genetics**, v. 8, p. 271-278, 2001.
- WRIGHT, J. W. **Introduction to forest genetics**. New York: Academic Press, 1976. 461 p.
- ZHENG, Y.; ENNOS, R. Changes in the mating systems of populations of *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* under domestication. **Forest Genetics**, v. 4, p. 209-215, 1997.

Tecnologia para Agregação de Valor à Madeira de *Pinus*

Washington Luiz Esteves Magalhães, Jarbas Yukio Shimizu

1. Introdução

A madeira é um material que apresenta resistência mecânica comparável à do aço, resguardadas as devidas proporções em peso. Porém, a sua utilização não é generalizada, em decorrência de algumas características ainda consideradas desvantajosas em relação a outros materiais (SUN; HAWKE, 1996).

A madeira possui sítios ativos identificados como grupos hidroxilas e outros, contendo oxigênio, que são aptos a fazerem ligações de hidrogênio com moléculas de água ou entre si. Entre eles, a celulose e as polioses são as principais responsáveis pela absorção de umidade, por serem mais higroscópicas que a lignina. Absorção ou desorção de água são fenômenos que ocorrem na madeira de acordo com as variações no seu conteúdo de umidade. Disso resulta a alternância entre inchamento e retração anisotrópica que pode levar à fratura mecânica (ELLIS, 1994; LAANTERA et al., 1993). Outro aspecto em que a madeira se diferencia dos demais materiais é a ação de microorganismos, insetos e animais marinhos sobre ela. Esses agentes são capazes de reconhecer os polímeros da sua parede celular e têm enzimas específicas capazes de hidrolisar estas macromoléculas em unidades digeríveis. Esse processo de

degradação da madeira é reconhecido como biodegradação (ROWELL, 1982). Além disso, submetendo-se a madeira a aumentos gradativos de temperatura, ela sofre, seqüencialmente, reações de hidrólise, oxidação, desidratação e pirólise, culminando com a eliminação de gases inflamáveis.

Apesar das vantagens da madeira sobre outros materiais em vários aspectos, ainda persiste, no Brasil, um preconceito injustificado quanto à sua utilização em grande escala, devido à algumas características desfavoráveis. Diversos tratamentos têm sido propostos com a finalidade de reduzir ou, até mesmo, eliminar as características desfavoráveis, principalmente na madeira maciça. A modificação química da madeira ou a aplicação de produtos tóxicos pode impedir a biodegradação. Pode-se, também, reduzir a sua combustibilidade, mediante processo semelhante. Se as reações químicas modificarem os sítios ativos, impede-se a alternância de inchamento e retração e, com isso, elimina-se o problema da fratura mecânica. Aumentando-se a sua densidade, mediante polimerização da lignina ou dos polissacarídeos (celulose e polioses) com a aplicação de resinas, aumenta-se, também, a sua resistência mecânica. Os tratamentos físicos ou químicos dados à madeira podem,

eventualmente, torná-la impermeável à água e aumentar a sua vida útil.

2. Possibilidades de Tratamento da Madeira

Existem vários tratamentos que podem ser aplicados à madeira maciça, embora ainda poucos sejam utilizados em escala comercial. Dentre eles estão:

- 1) Tratamento térmico;
- 2) Impregnação com polímeros ou monômeros;
- 3) Modificação química nas paredes celulares;
- 4) Deposição de sais, açúcares, ácidos e organometálicos;
- 5) Plasma frio.

2.1. Tratamento térmico

Aquecendo-se a madeira até atingir altas temperaturas (350 °C), sob vácuo ou na ausência de oxigênio, por curto período de tempo, a lignina flui e a hemicelulose se decompõe, ocorrendo a carboxilação dos grupos hidroxilas e aldeídos. Isto gera polímeros insolúveis, aumenta a estabilidade dimensional da madeira em 40 % e reduz a sua resistência mecânica em 50 % (ROWELL; KONKOL, 1987; CHRISTIANSEN, 1991).

O tratamento térmico reduz a higroscopicidade e aumenta a estabilidade da madeira, gerando um produto denominado *staywood*. Este tratamento pode ser aplicado, também, submetendo-se a madeira a uma temperatura moderada durante um longo intervalo de tempo. Pode-se, também, aplicar o tratamento térmico sob compressão para gerar um produto denominado "*staypak*".

Neste caso, a madeira deve conter entre 30 % e 65 % de umidade e, sobre ela, aplica-se uma compressão entre 1.400 lb/pol² e 1.600 lb/pol² a uma temperatura entre 170 °C e 177 °C. O tempo de compressão necessário depende da espessura da peça e a densidade final chega a pelo menos 1,3 g/cm³.

O "*staypak*" absorve água a uma taxa 60 % menor, fazendo com que se torne dimensionalmente mais estável e com maior resistência mecânica do que a madeira não tratada. Uma variação desse tratamento é a prensagem a 2.000 lb/pol² à temperatura de 300 °C por cinco minutos (ROWELL; BANKS, 1985).

2.2. Impregnação com polímeros ou monômeros

Quando a impregnação é feita com resina de alto peso molecular (KANDEM; RIEDL, 1991), esta tem a tendência de se acumular na superfície das fibras, enquanto que resinas de baixo peso molecular penetram no interior da estrutura das fibras. Muitos monômeros usados na formação de compósitos de madeira não conseguem penetrar na parede celular e, após a polimerização, não preenchem completamente o lumen das células, devido à retração volumétrica do polímero (ELLIS, 1994). Para facilitar a difusão do monômero pelas paredes e posterior polimerização *in situ*, visando a melhorar a estabilidade dimensional da madeira, pode-se encharcá-la com solventes como metanol, acetona, piridina, dimetil formamida, sulfóxido de dimetila, etileno diamida ou dietilamina. Os monômeros polares são mais indicados para aumentar a adesão à superfície das paredes e a estabilidade dimensional.

2.2.1. Impregnação com compressão

A impregnação da madeira com polímeros ou monômeros sob compressão envolve o uso da solução de polímeros com baixo peso molecular para facilitar a sua penetração. A resina mais utilizada para isso é uma solução aquosa de fenol-formaldeído. Após a sua aplicação, submete-se a madeira à compressão entre 1.000 lb/pol² e 1.200 lb/pol², à temperatura em torno de 150 °C (ROWELL; KONKOL, 1987; ROWELL; BANKS, 1985; KUMAR, 1994). A resina sofre o processo de cura dentro da estrutura da madeira, transformando-a no produto denominado "compreg". Pode-se, também, após a impregnação com resina, secar a madeira até atingir menos de 2 % de umidade à baixa temperatura (menos de 30 °C) e promover a cura durante a prensagem a quente. A taxa de absorção e a máxima quantidade de água absorvida são substancialmente reduzidas, obtendo-se até 95 % de aumento na estabilidade dimensional.

O "compreg" é muito resistente à biodegradação e ao ataque de cupins e brocas marinhas. Ele apresenta maior resistência elétrica e a ácidos, em comparação com a madeira não tratada. Todas as propriedades de resistência mecânica são aumentadas, à exceção da flexão ao impacto. Esses tratamentos podem ser aplicados, também, sem compressão, curando-se a resina durante a secagem. A madeira assim tratada é denominada "impreg" e apresenta estabilidade dimensional aumentada em até 70 % em relação à madeira não tratada.

2.2.2. Impregnação com polímeros que não se ligam à parede celular

No tratamento da madeira com polímeros que não se ligam à parede celular, usam-se soluções aquosas de polietileno glicol (PEG) na concentração entre 30 % e 50 % (ROWELL; BANKS, 1985; ROWELL; KONKOL, 1987; NORIMOTO et al., 1992; HAZER et al., 1993), seguida de secagem à temperatura ambiente. Esse processo é utilizado no tratamento de objetos arqueológicos de madeira que requerem secagem sem sofrer desintegração. O PEG é muito higroscópico e não faz ligações com as paredes da madeira. Ele apenas preenche o lume das células e é facilmente lixiviado. Para evitar a sua lixiviação, são necessárias duas demãos de verniz de poliuretano. Pode-se, também, adicionar resina fenólica para melhorar a estabilidade dimensional da madeira.

A impregnação da madeira com acrilatos e metacrilatos, de baixo ou alto peso molecular (ROWELL et al., 1981; ELLIS, 1994; ELVY et al., 1995; ROWELL; BANKS, 1987), é feita em autoclave. Faz-se, inicialmente, o vácuo, a fim de retirar o ar de dentro dos poros da madeira. Em seguida, injeta-se o monômero e a polimerização é realizada com radiação ou catálise pelo calor ou pelo processo químico. O compósito final é repelente à água, mas não tem estabilidade dimensional. Esta pode ser obtida usando-se um monômero ou uma mistura de monômeros de baixo peso molecular que possam fazer ligações de hidrogênio e penetrem nas paredes das células da madeira. Pode-se, também, usar alcooxisilanos como agentes de acoplamento entre o polímero e a parede celular. Com esse tratamento, as propriedades mecânicas de resistência à tração, à compressão, ao

impacto, bem como o módulo de ruptura e a dureza da madeira aumentam de 100 % a 200 % em relação à madeira não tratada. A madeira submetida a esse tratamento é usada principalmente como piso.

A impregnação com cera é outra forma de se tratar a madeira. Retira-se a água da madeira verde mediante fervura em éter etilenoglicol monoetil que é um solvente orgânico com ponto de ebulição maior que da água (ROWELL; BANKS, 1985; ROWELL; KONKOL, 1987). Esse solvente substitui a água, acarretando pouca mudança no volume da madeira. Em seqüência, a cera fundida substitui o solvente. A cera deve ter ponto de fusão mais alto do que o do solvente. Ela substitui, no máximo, 80 % das moléculas de água, devido ao tamanho destas. Este tratamento impede, fisicamente, o acesso da água aos sítios hidroxilas da madeira, tornando-a impermeável à água. Porém, ele dificulta as colagens e os acabamentos das peças de madeira. A impregnação com estireno (GOMES, 1996; GALPERIN et al., 1995; KUMAR, 1994; HAZER et al., 1993) é um tratamento feito em autoclave. Inicialmente, faz-se o vácuo, injeta-se o monômero e, em seguida, pressuriza-se o vaso. Para a polimerização, é necessário um catalisador como o peróxido de benzoíla. Este é misturado com o monômero, no momento da impregnação e, após a aplicação, a peça de madeira é aquecida a 60 °C até se obter a cura da resina. Este tratamento tem proporcionado aumentos até mais que o dobro nas resistências à compressão, ao cisalhamento, à tração e à flexão (GOMES, 1996) e ganhos em peso entre 70 % e 140 % em relação à madeira não tratada. Porém, ele não interfere na estabilidade dimensional

relacionada à absorção de água. Se ocorrer o encharcamento das paredes celulares com solvente, pode haver co-polimerização, formando um compósito grafitizado nas paredes das células (KUMAR, 1994). Se não ocorrer a co-polimerização, o poliestireno apenas enche os vazios da madeira. Pode-se, ainda, aplicar agentes de acoplamento entre os sítios hidroxilas da madeira e o poliestireno (BLEDZKI et al., 1996).

O tratamento com epóxi (ROWELL; KONKOL, 1987) é feito com uma resina com baixo grau de polimerização. Depois da impregnação, promove-se a cura com um endurecedor durante cinco a seis horas à temperatura ambiente. Este tratamento é mais usado em madeira laminada por ser de difícil penetração. Ele faz reduzir a taxa de absorção de água, uma vez que cria uma barreira nas paredes internas, evitando-se, assim, a instabilidade dimensional.

A resina poliéster, usada com o catalisador hidroperóxido de isopropil benzeno, tem boa penetração na madeira (GALPERIN et al., 1995). Ela preenche as cavidades, mas não reage com as paredes das células, promovendo um aumento significativo na dureza (mais de 600 %) e em outras propriedades mecânicas da madeira.

2.2.3. Impregnação com polímeros que reagem com a parede celular

A impregnação da madeira com a resina uréia-formaldeído (GALPERIN et al., 1995), também, aumenta as propriedades da madeira como a dureza (150 %), as resistências à compressão (50 %), à flexão estática (50 %) e à abrasão (100 %). Por outro lado, ela reduz o inchamento (50 %) e a absorção máxima de água (65 %). Porém, como a resina não é

muito resistente à água, deve-se evitar a sua aplicação em madeira destinada ao uso em ambientes externos.

A aplicação de uma solução aquosa básica (pH entre 8,5 e 9,5) das resinas melamina-formaldeído e melamina-ameilina-formaldeído (PITTMAN et al., 1994), também, constitui uma forma de impregnação da madeira envolvendo reação com a parede celular. Neste caso, usa-se o processo a vácuo, seguido de imersão na solução sob pressão e posterior cura, mediante um programa de aquecimento desde a temperatura ambiente até 150 °C. O aumento na resistência à carga pode ser controlado variando-se o tipo da resina, o seu conteúdo de sólidos e sua viscosidade. Este tratamento promove o aumento na estabilidade dimensional de até 75 % e na repelência à água de mais de 75 %. Porém, a madeira tratada torna-se mais frágil e a resistência ao impacto se reduz em torno de 40 % em relação à madeira não tratada. Em testes anti-chama (padrão ASTM E906-92), as amostras tratadas com melamina-formaldeído não entraram em ignição. Em teste de simulação da resistência ao uso externo, amostras expostas à radiação (padrão ASTM G26-70) do tipo arco de xenônio não apresentaram deformação nem descoloração.

No tratamento com hexametoximetil melamina líquida, usando-se o ácido e o tolueno sulfônico como catalisadores, para impregnar a madeira pelo processo vácuo/pressão, ocorre reação covalente com os grupos hidroxilas, conferindo aumento de 52 % na estabilidade dimensional (MIROY et al., 1995). A estabilidade não depende da carga de resina aplicada, mas, a dureza Brinell, que pode ser aumentada em até 190 %, é altamente dependente da carga de resina aplicada.

A impregnação com a resina fenol-formaldeído (GALPERIN et al., 1995; ROWELL; KONKOL, 1987; ROWELL; BANKS, 1985) aumenta a dureza (até 80 %), as resistências à compressão perpendicular às fibras (até 94 %), à abrasão (até 130 %), ao inchamento na direção tangencial (55 %) e à máxima absorção de água (até 50 %). Com esse tratamento, as resistências à compressão axial e ao cisalhamento, também, aumentam em até 38 % e 27 %, respectivamente, em relação à madeira não tratada, enquanto que a resistência à flexão estática permanece inalterada e à flexão ao impacto fica significativamente reduzida (50 %).

Fenol-furfurol-formaldeído, também, pode ser aplicado no tratamento da madeira. A madeira tratada com esse produto absorve 68 % menos água, torna-se 50 % mais resistente à compressão e dimensionalmente mais estável em relação à madeira não tratada (GALPERIN et al., 1995).

A impregnação com álcool furfurílico pode ser feita usando-se catalisadores como o cloreto de zinco, o ácido cítrico ou o ácido fórmico. Em geral, obtém-se um ganho em estabilidade em torno de 70 %, com qualquer desses catalisadores (STAMM, 1977), mas a resistência à flexão estática reduz-se em torno de 10 %. Usando-se o ácido fórmico como catalisador, o grau de polimerização se reduz, mas a resistência mecânica permanece praticamente inalterada. O tempo de cura pode ser reduzido de 18 h para 6 h, usando-se cloreto de zinco e aquecimento a 120 °C. A solução de álcool com catalisador é estável por longo tempo e pode ser reutilizada. Isto facilita o seu emprego em escala comercial.

O álcool furfurílico e o ácido bórico têm sido usados no tratamento da madeira, visando a melhorar a estabilidade dimensional e a resistência aos fungos e aos cupins (RYU et al., 1992). O álcool furfurílico promove alterações químicas que aumentam a estabilidade dimensional da madeira entre 10 % e 50 %, com uma carga de polímero de até 30 % em peso. Com a impregnação dupla, usando-se, inicialmente, o ácido bórico e, posteriormente, o álcool furfurílico, a estabilidade dimensional aumenta até 30 % com uma carga de polímero de apenas 5 %. Porém, mesmo que se acrescente mais polímero, a estabilidade dimensional não aumenta além desse patamar.

Para aumentar a resistência da madeira ao ataque de fungos, pode-se aplicar um tratamento somente com furfuol. Em madeira tratada com uma carga de 30 % p/p de furfuol e submetida ao ataque de fungos, observou-se uma perda de massa de apenas 3 % após 12 semanas. Esta perda se reduz a praticamente zero se for feito o pré-tratamento com ácido bórico.

O tratamento da madeira com uma solução de álcool furfurílico, metil metacrilato (MMA) e um catalisador desencadeia um processo em que o furfuol reage com as paredes e o MMA preenche o lume das células. Isso gera um composto com estabilidade dimensional e dureza Shore aumentadas em até 74 % e 18 %, respectivamente, do que na madeira não tratada (SCHNEIDER, 1995). Entretanto, a madeira tratada comporta-se como um material cromatográfico que separa os componentes da mistura durante o tratamento e deixa um gradiente de concentração dos reagentes ao longo da peça. Esse aspecto deve ser levado em consideração nos tratamentos em escala comercial.

A madeira de pínus pode ser facilmente impregnada com uma solução de álcool furfurílico e tetraetil ortosilicato contendo ácidos p-tolueno sulfônico e acético como catalisadores. A madeira impregnada é então submetida ao aquecimento em estufa à temperatura de 100 °C para polimerização *in situ*. Este tratamento promove melhorias na estabilidade dimensional e na repelência à água (MAGALHÃES, 1998).

Outro tratamento possível é a impregnação com solução de álcool furfurílico e estireno, seguida de aquecimento a 100 °C para polimerização e cura dos reagentes (MAGALHÃES et al., 2002; MAGALHÃES, 2002; MAGALHÃES; SILVA, 2004) (Figura 1).



Figura 1. Madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratada com álcool furfurílico. Foto: Daniel Tonial Thomaz.

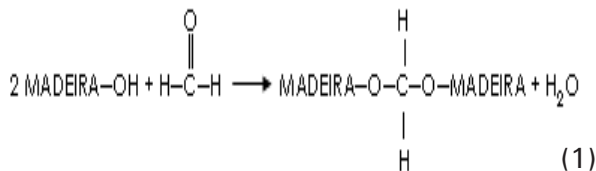
O tratamento da madeira com MMA (ROWELL et al., 1981), que envolve polimerização *in situ* com preenchimento do lume das células, promove redução de até 50 % na taxa de degradação da superfície exposta à radiação ultravioleta. Na combinação desse tratamento com um

tratamento prévio, usando-se óxido de butileno ou isocianato de metila, que reagem com as paredes das células, a degradação da superfície se reduz a praticamente zero, mesmo após 1.800 h de exposição à radiação ultravioleta.

2.3. Modificação química nas paredes celulares da madeira

2.3.1. Acetalização

Na formação do acetal, em que há reação dos grupos hidroxilas da madeira com o formaldeído, ocorre inter cruzamento entre si ou entre diferentes polímeros de celulose, poliose e lignina (KUMAR, 1994; ROWELL; KONKOL, 1987; NORIMOTO et al., 1992; ROWELL; BANKS, 1985; RUSAN; POPA, 1992). Esta reação é catalisada por ácidos fortes, conforme o esquema (1):



Com baixo ganho percentual em peso de formaldeído (7 %), aumenta-se, consideravelmente (90 %), a estabilidade dimensional da madeira. Outros aldeídos como o acetaldeído e o benzaldeído também já foram pesquisados. Estes compostos reagem em um sistema em que se usa o ácido nítrico ou o cloreto de zinco como catalisador. A estabilidade dimensional da madeira obtida mediante tratamento com acetaldeído é alta. Porém, quando impregnada com benzaldeído, a estabilidade aumenta apenas 40 %. Pode-se usar, também, aldeídos difuncionais como o glioxal, glutaraldeído e a-hidróxiadipaldeído

(ROWELL; BANKS, 1985). Todos estes requerem o uso de catalisador. Aumentos na estabilidade dimensional da madeira de até 50 % podem ser obtidos com baixo acréscimo em peso (20 %) devido à ocorrência de inter cruzamento dos polímeros naturais quando se usa formaldeído. Quando se aumenta a quantidade impregnada, reduz-se a estabilidade dimensional. Isso demonstra que o mecanismo passa a ser o de encher os vazios e não de reagir com os grupos hidroxila da madeira.

A madeira pode ser tratada, também, com glioxal e glicóis (etileno e dietileno glicol), usando-se o dióxido de enxofre como catalisador e aquecimento, visando a aumentar a estabilidade dimensional e a eficiência da impermeabilização (antiabsorção) à água (YASUDA; MINATO, 1995). A otimização das concentrações dos reagentes, na proporção glicol/glioxal de 5/1 em moles proporcionou ganhos no peso (~ 14 %) e na estabilidade dimensional (~ 70 %) da madeira. Houve formação de éster e éter com as hidroxilas da madeira, comprovando a reação com a celulose amorfa e o aumento da cristalinidade.

O tratamento da madeira com cloral (tricloroacetaldeído), sem catalisador, proporciona alta estabilidade dimensional (em torno de 60 %) (ROWELL; BANKS, 1985). Porém, esse produto é facilmente lixiviado e a reação parece ser reversível. O tratamento com ácido ftálico diluído em acetona, tendo o ácido p-toluenosulfônico como catalisador, também promove aumento (50 %) na estabilidade dimensional da madeira.

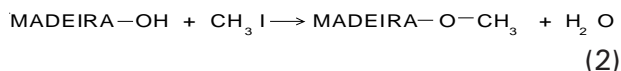
Entre os aldeídos, o produto mais acessível e mais estudado é o formaldeído. Embora

contribua para a redução da biodegradação, da retração e do inchamento da madeira, este tem o inconveniente de reduzir, também, a resistência mecânica (~ 10 %). A vantagem do tratamento com esse produto é que aumenta, substancialmente (até 94 %), a resistência à fluência.

2.3.2. Eterificação

2.3.2.1. Metilação

A reação da madeira com o sulfato de dimetila ou com o iodeto de metila resulta em eterificação dos polímeros da parede celular (KUMAR, 1994; ROWELL; BANKS, 1985). Metilações (2) feitas repetidas vezes podem resultar em ganho no peso de até 20 %, acompanhado de aumento na estabilidade dimensional de até 60 %.



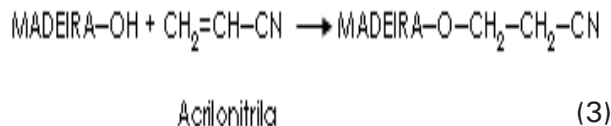
2.3.2.2. Alquilação

Reações da madeira com cloretos de alquilas são realizadas usando-se, normalmente, a piridina ou o cloreto de alumínio como catalisador. Embora isso promova aumento na estabilidade dimensional da madeira, existem inconveniências como a formação de HCl (ácido clorídrico) que pode degradar as cadeias de celulose, resultando em perda de resistência mecânica (KUMAR, 1994; ROWELL; BANKS, 1985; RUSAN; POPA, 1992). Outro problema da alquilação, feita com piridina, é que os produtos formados são solúveis em água e facilmente lixiviados.

2.3.2.3. Cianoetilação

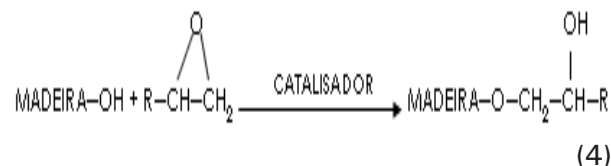
Reações da madeira com acrilonitrila (cianoetilação) (3) promovem aumento na estabilidade dimensional e na resistência à

biodeterioração, mas reduz a resistência mecânica da madeira (KUMAR, 1994; ROWELL; BANKS, 1985). Usando-se hidróxido de sódio como catalisador, a estabilidade dimensional aumenta em até 60 %, com ganho de 30 % em peso. No entanto, se for utilizado o hidróxido de amônio como catalisador, forma-se, na parede celular, um polímero solúvel em água que é facilmente lixiviado. Caso a cianoetilação seja feita com metanol, forma-se um polímero que preenche os vazios, sem que haja reação com as paredes celulares, promovendo estabilidade dimensional de até 40 %.



2.3.2.4. Reação com epóxidos

A reação entre epóxido e a madeira (4) pode ser catalisada com uma base fraca (KUMAR, 1994; ROWELL, 1982; ROWELL; BANKS, 1985).



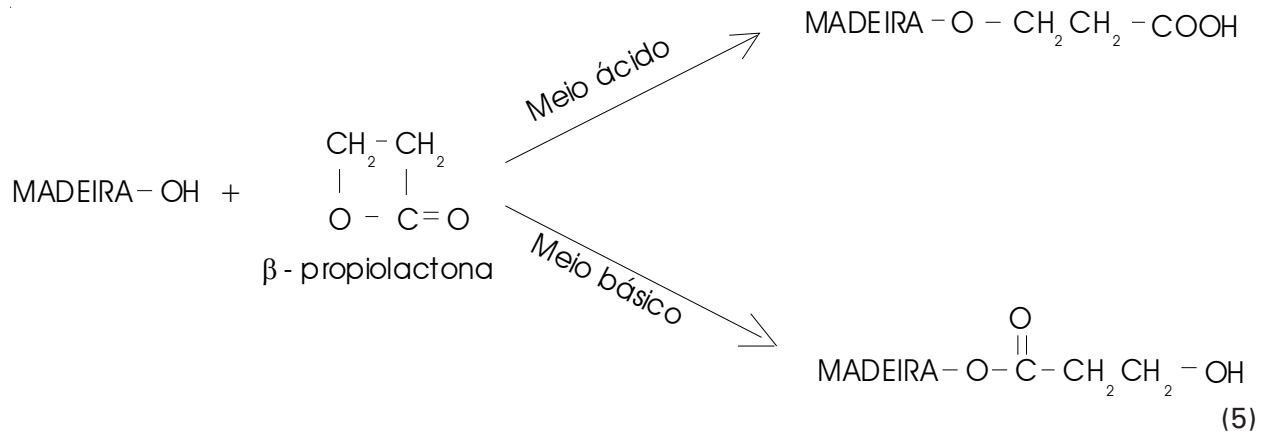
Com essa reação, forma-se um novo grupo hidroxila que pode reagir com outra molécula do epóxido, resultando em polimerização *in situ* com cadeias curtas. Os epóxidos mais utilizados são o etileno, o propileno e o butileno. A reação é rápida e ocorre nas paredes celulares. A condição mais favorável para essa reação é com o uso de trietilamina (95/5 v/v) como catalisador, à temperatura de 120 °C e 150 psi de pressão. Com

acréscimo de 20 % a 30 % em peso na madeira, consegue-se 50 % a 70 % de aumento na estabilidade dimensional. Este tratamento é caro e, além disso, o aumento na quantidade de epóxido, além desse limite causa ruptura na estrutura celular, resultando em perda na estabilidade dimensional. Com esse tratamento, consegue-se boa proteção contra o ataque de agentes bióticos (ROWELL et al., 1979; ROWELL, 1982). As reações com epóxido, geralmente, degradam as propriedades mecânicas da madeira, em torno

de 10 % e, também, as propriedades reológicas em até 180 % (NORIMOTO et al., 1992).

2.3.2.5. b-propiolactona

A madeira constitui um meio ligeiramente ácido, com pH em torno de 5. Nessa condição, b-propiolactona reage com a madeira, formando um éter (derivado carboximetil) (ROWELL; BANKS, 1985; RUSAN; POPA, 1992) (5).



Em meio básico, a reação resulta em outro produto (um éster) e propicia um ganho de 30 % em peso e de 60 % na estabilidade dimensional.

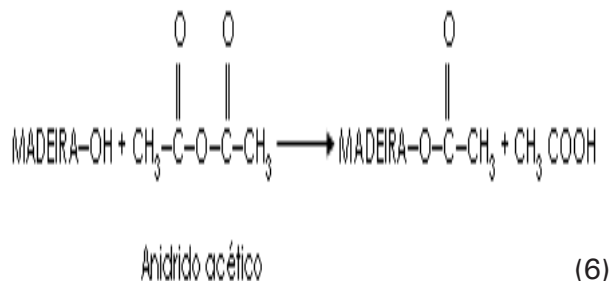
2.3.3. Esterificação

Os ésteres são formados pela reação das hidroxilas da madeira com os anidridos ácidos, ácidos carboxílicos ou isocianatos e são passíveis de sofrer hidrólises ácida ou básica.

2.3.3.1. Acetilação

Na acetilação (6), o anidrido ácido mais utilizado é o acético. Entretanto, podem ser utilizados, também, os anidridos propiônico,

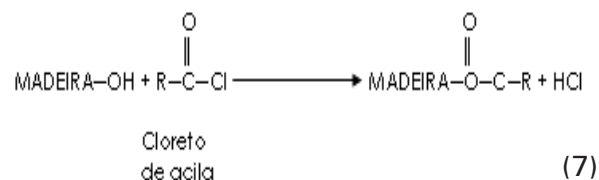
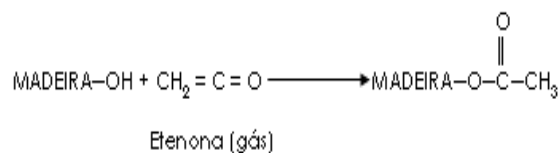
butírico, trifluoracético, ftálico ou maleico. Não há necessidade de catalisadores e o solvente normalmente utilizado é o xileno (ROWELL; BANKS, 1985, 1987; NORIMOTO et al., 1992). No caso de optar pelo anidrido ftálico, usa-se dimetilformamida como solvente. Em geral, aumentando-se o peso em torno de 20 %, consegue-se um aumento em torno de 70 % na estabilidade dimensional. Porém, após imersão em água, a estabilidade se reduz para 50 %, possivelmente, devido à lixiviação e/ou degradação do éster formado.



Quando a acetilação é feita com anidrido acético, forma-se ácido acético que deve ser retirado da madeira, pois pode provocar a reversão da esterificação e corrosão nos metais usados como elementos de fixação. O inconveniente desta reação é a perda de 50 % do reagente com a eliminação do ácido acético. Destrói-se o ácido acético *in situ* com óxido de etileno ou acetileno, formando-se outro éster. O ácido acético pode ser neutralizado com octadecilamina, resultando em um repelente à água. Pode-se fazer a acetilação em presença de anilina, que reage com o ácido desprendido, formando um biocida que proporciona proteção adicional à madeira. Pode-se usar, também, a piridina com cloreto de fósforo (PCl₃) como catalisador.

Quando a acetilação é feita com anidridos cíclicos (maleico, ftálico, heptadecenilsuccínico), a estrutura cíclica se abre, reagindo com a hidroxila da madeira e forma um outro grupo hidroxila apto a reagir novamente ou a fazer ligações de hidrogênio com a água. Adicionando-se epicloridrina a estes anidridos cíclicos, obtém-se madeira oligoesterificada (KUMAR, 1994) que, no caso do anidrido maleico, é solúvel e lixiviável com água. O tratamento com anidrido ftálico e epicloridrina proporciona alta resistência à intempérie e à biodegradação.

Uma possibilidade para reações de esterificação, ainda não relatada, é a adição de álcool etílico ou metílico aos anidridos, tendo o cloreto de alumínio como catalisador. Norimoto et al. (1992) promoveram acetilação com solução aquosa de anidrido maleico e glicerol na razão 2/1 em volume. Porém, a melhor opção de impregnação com esterificação se obtém usando-se o anidrido acético (7). Outras acetilações, também, já foram estudadas (KUMAR, 1994; RUSAN; POPA, 1992), porém, sem sucesso comercial.



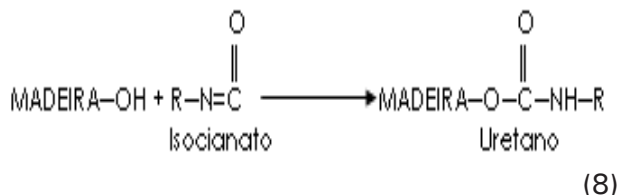
A madeira acetilada apresenta alta resistência ao ataque de alguns tipos de fungo, mas não resiste a um ano em ambientes como torre de resfriamento (KUMAR, 1994). Embora esse tratamento proporcione certa resistência aos cupins subterrâneos e às brocas marinhas, não é melhor que o tratamento com CCA e creosoto. A acetilação aumenta em até 48 % a resistência à fluência (NORIMOTO et al., 1992). Além disso, ela estabiliza as propriedades acústicas (KUMAR, 1994), tornando a madeira tratada com anidrido e epóxido ideais para uso na fabricação de instrumentos musicais.

A estabilidade dimensional da madeira aumenta linearmente com o ganho percentual em peso, independentemente do anidrido utilizado (HILL; JONES, 1996). Portanto, essa estabilidade pode ser obtida não só com a modificação química do sítio hidroxila, mas, também, com o preenchimento dos espaços, de maneira que se impeça a penetração de água pela parede celular.

2.3.3.2. Isocianatação

As reações da madeira com isocianatos são, geralmente, rápidas e produzem ligações uretanas estáveis. A lignina da madeira reage com o isocianato mais rapidamente que os polissacarídeos. Se ela for impregnada com mais de 30 % em peso, começam a ser expostas novas superfícies com ruptura das paredes celulares. Isso ocasiona redução na estabilidade dimensional. A máxima estabilidade (70 %) é obtida com 16 % a 28 % de aumento em peso (KUMAR, 1994; ROWELL; KONKOL, 1987; RUSAN; POPA, 1992; ROWELL, 1982; QUINNEY et al., 1995). Apesar da alta velocidade de reação, nem todos os grupos hidroxilas disponíveis reagem, mesmo com grandes aumentos em peso.

Isocianatos de baixo peso molecular reagem com as paredes, enquanto que os de alto peso molecular tendem a formar polímeros que enchem os vazios da madeira e reagem pouco com as paredes celulares (8).



Os principais isocianatos usados são fenil, metil, etil, butil e alil isocianatos, adicionados com dimetilformamida ou piridina e tolueno (KUMAR, 1994). Com esse tratamento, as tensões de compressão e flexão são aumentadas, enquanto que as resistências à abrasão e à fratura se reduzem. Esses tratamentos proporcionam, também, maior resistência aos fungos.

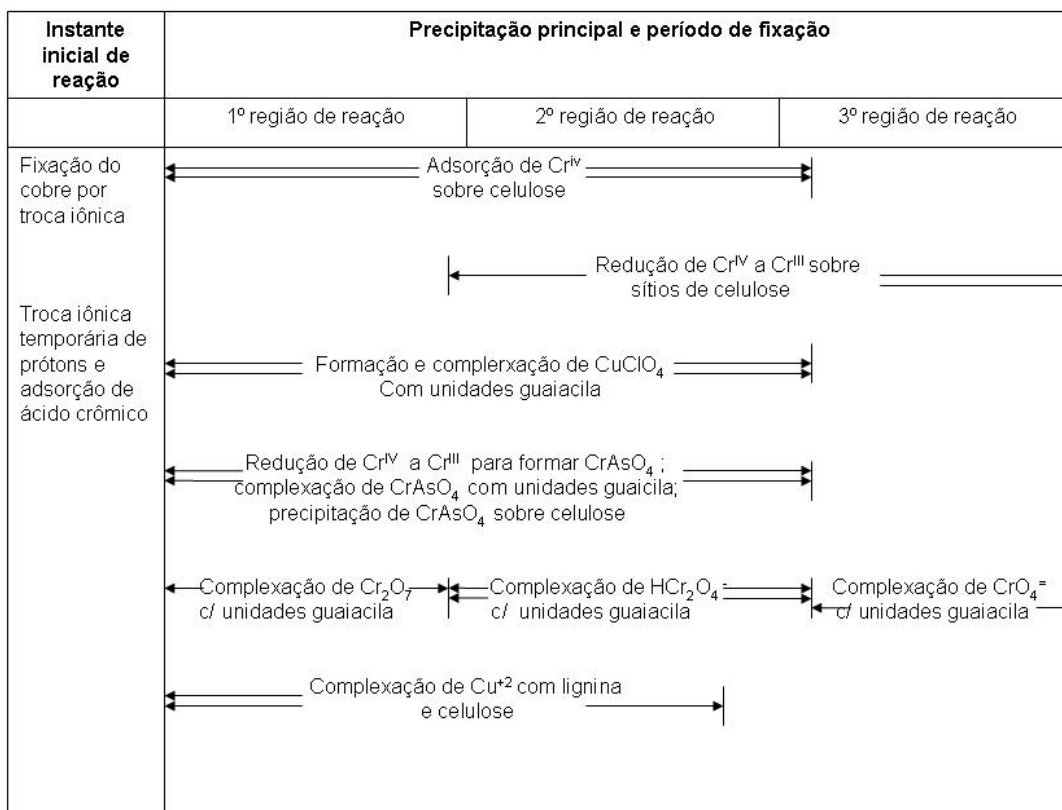
2.4. Deposição de sais, açúcares e ácidos organometálicos

Em geral, soluções aquosas de sais ou açúcares são injetadas na madeira em autoclave. Depois disso, faz-se a secagem, em cujo processo ocorre deposição desses produtos nas paredes celulares (ROWELL; BANKS, 1985; YAMAGUCHI, 1994a, 1994b). Os sais mais comumente utilizados são o cloreto de manganês, o sódio, o bário, o magnésio, o lítio, o tiocianato de potássio e o iodeto de potássio. Os açúcares utilizados são a sucrose ou o açúcar invertido (mistura de glucose e frutose). Inicialmente, a estabilidade dimensional obtida é alta (maior que 70 %). Entretanto, como esses produtos são facilmente lixiviados com a água, a eficiência se reduz bruscamente. Este problema pode ser resolvido com duas demãos de verniz.

Mediante impregnação da madeira com ácido silícico (processo de baixo custo), obteve-se aumento de 16 % na resistência à flexão estática e de 40 % na estabilidade dimensional (YAMAGUCHI, 1994a, 1994b). O ácido silícico tem propriedade antichama e é de difícil lixiviação. Embora não se tenha mostrado evidência de reação química entre a madeira e o ácido, supõe-se que ocorra polimerização dentro da parede celular.

O tratamento de maior sucesso comercial é a impregnação com CCA, que é uma solução aquosa contendo sais de cobre II, cromo VI e arsênio V, em proporções variáveis de acordo com o fabricante. Existem variações neste tratamento, inclusive com a utilização de ácido bórico. Porém, o uso deste produto vem sendo evitado por ser facilmente lixiviável. O cobre pode ser usado na forma de CuO ou $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; o cromo na forma de CrO_3 ,

Na_2CrO_7 , ou $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; e o arsênio na forma de As_2O_5 , com diferentes graus de hidratação. Este tratamento é extremamente tóxico, tanto ao ser humano quanto ao meio ambiente, e existem pressões para a sua proibição. No entanto, ainda não existe um processo alternativo que tenha a mesma eficácia na proteção contra a biodegradação. A interação do CCA com a madeira é complexa e sofisticada (Figura 2).



Setas duplas indicam reações predominantemente na região de reação.

A 1ª região de reação é, às vezes, de curta duração.

A 2ª região de reação é, às vezes, ausente ou muito curta; esta região termina quando todo o Cr se precipita ou se torna irreversivelmente fixado por complexação à unidade guaiacila.

A 3ª região de reação: principalmente redução $\text{Cr}^{\text{IV}} - \text{Cr}^{\text{III}}$ sobre sítios de celulose.

Figura 2. Esquema das reações de sais de cobre, cromo e arsênio com a madeira (adaptado de PIZZI, 1982).

Pizzi (1993a, 1993b) propôs a impregnação da madeira com um preservativo de amplo espectro, não tóxico, à base de sabões de Cu^{+2} , que tenha possibilidade como alternativa aos tratamentos à base de CCA, creosoto e paraclorofenicol. Os reagentes usados foram óleos vegetais, poliésteres e ácidos resinosos encontrados nos extrativos da madeira. O cobre faz uma ligação iônica com o grupo carboxila dos reagentes insaturados de maneira que, quando a madeira é umedecida, ocorre hidrólise da ligação e o Cu^{+2} adquire mobilidade para atuar como biocida. Quando ocorre o ressecamento, restabelece-se essa ligação. Os reagentes devem ser capazes de se polimerizar ou formar cadeias longas e insolúveis, de maneira a produzir um sólido orgânico e não serem lixiviados facilmente da madeira. Pode haver, também, ligação covalente com os carbonos das ligações duplas nas moléculas e alguma ligação com o anel aromático da lignina. Assim, os sabões mais insaturados proporcionam resistência à biodeterioração por mais tempo.

O ácido bórico tem sido usado, por ser um biocida eficiente que, praticamente, não agride o meio ambiente, além de promover a autocondensação do tanino e a formação de um sólido insolúvel no interior da madeira (PIZZI; BAECKER, 1996), mediante fixação com tanino poliflavonóide. Com este tratamento, conseguiu-se reduzir a lixiviação do boro e aumentar a longevidade da sua ação biocida. Porém, sua eficiência ainda é menor que a do tratamento à base de CCA.

Pode-se impregnar a madeira maciça, também, com gás do éster borato de trimetila (TURNER; MURPHY, 1995). Este gás reage com a água, formando ácido bórico que é depositado nas paredes. Isso proporciona proteção contra a biodegradação e resistência à chama.

A impregnação da madeira úmida com uma solução alcoólica de ácido acético e vários alcoóxidos e quelatos de titânio, mediante processo sol-gel, aumenta a estabilidade dimensional em até 40 % e a temperatura de pirólise em 40 °C (MIYAFUJI; SAKA, 1997). Isso faz aumentar a resistência da madeira à chama, desde que haja formação de gel no interior das paredes e não no lume das células. Aumentos de até 80 % na resistência à chama e na repelência à água na madeira foram obtidos usando-se um processo semelhante (SAKA; UENO, 1997), envolvendo impregnação da madeira úmida com solução alcoólica de ácido acético e tetraetoxisilano e metiltrimetoxisilano. Estes autores conseguiram, ainda, reduzir a lixiviação dos agentes antichama da madeira maciça, adicionando pequena quantidade de heptadecafluorooctiltrimetoxisilano que aumentou, ainda mais, a repelência à água. De todos os tratamentos citados na literatura, podem-se representar os mecanismos envolvidos entre reagentes e madeira maciça conforme a Figura 3 (NORIMOTO et al., 1992).

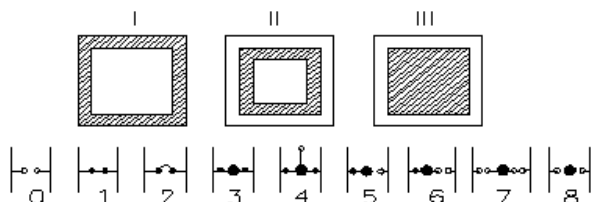


Figura 3. Modelo de modificação química da madeira. (I) modificação apenas na parede da célula; (II) deposição na superfície de parede; (III) preenchimento do lume da célula. (0,1,2,3,4,5,6,7,8 ilustram como a modificação química pode ocorrer na escala molecular). Círculos vazios representam grupos hidroxilas disponíveis para ligações de hidrogênio; os círculos cheios e pequenos representam substituição química; e os círculos cheios e grandes representam reagentes que enchem as paredes celulares (adaptado de NORIMOTO et al., 1992).

2.5. Modelagem dos tratamentos químicos

Supondo-se, para efeito de simplificação, que a seção reta de uma célula da madeira seja retangular (Figura 3), as substâncias químicas que forem introduzidas na madeira poderão: a) modificar internamente as paredes; b) reagir com a superfície da parede e formar uma camada adjacente; ou c) encher completamente os espaços vazios. A região hachurada da Figura 3 representa, esquematicamente, as cadeias poliméricas de material lignocelulósico. Na situação 1, a ligação química é feita com a madeira seca e isso impede o movimento lateral; na situação 2, a ligação é feita no estado molhado e desenvolve um potencial razoável de liberdade, mesmo após a secagem - os círculos grandes e cheios representam reagentes com

alto peso molecular; nas situações 3 e 4, o reagente promove um inter cruzamento, sendo hidrófobo em 3 e hidrófilo em 4. Nas situações 5 e 6, os reagentes são hidrófobos e hidrófilos, respectivamente, com uma ligação estável em um só lado. Nas situações 7 e 8, os reagentes são hidrófilos e hidrófobos, sem formar fortes ligações.

2.6. Tratamento da superfície com plasma frio

O plasma é o quarto estado da matéria e pode ser quente ou frio. No plasma frio (ou fora do equilíbrio), em que uma pequena porcentagem das moléculas do gás está ionizada, os elétrons estão muito rápidos (quentes) e as demais espécies (moléculas, íons e radicais livres) estão próximas da temperatura ambiente (OHRING, 1992). Estima-se que a maior parte do universo, incluindo as estrelas, o espaço sideral e a aurora boreal, esteja no estado de plasma.

O uso do plasma frio, ou descarga luminescente, é uma técnica conveniente para modificar as propriedades da superfície da madeira sem alterar o seu volume. Essa técnica possibilita a deposição de um filme sólido sobre a superfície da madeira, com maior adesão do que as tintas e os vernizes. Após o tratamento da madeira de pínus com plasma frio (Figura 4), sua superfície torna-se hidrofóbica. O filme depositado proporciona maior resistência aos raios UV e aos agentes químicos, além de maior dureza à madeira (MAGALHÃES, 2002; MAGALHÃES; SOUZA, 2002).

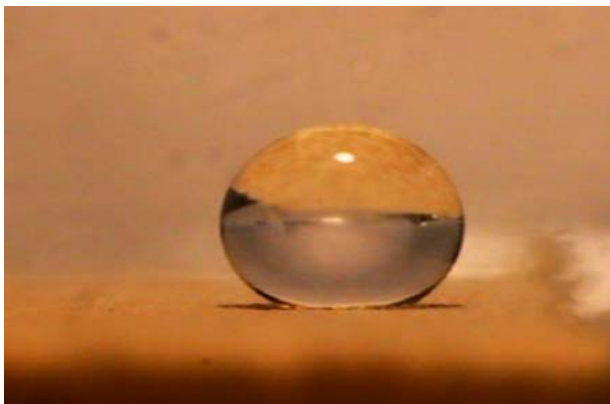


Figura 4. Gota d'água de 5ml sobre superfície transversal às fibras de madeira de pínus tratado com plasma frio de 1-butenos. Foto: Washington Luiz Esteves Magalhães.

3. Referências

- BLEDZKI, K.; RHEIMANE, S.; GASSAN, J. Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 59, p. 1329-1336, 1996.
- CHRISTIANSEN, A. W. How overdrying wood reduces its bonding to phenol-formaldehyde adhesives: a critical review of the literature. Part II. Chemical reactions. **Wood and Fiber Science**, v. 23, n. 1, p. 69-84, 1991.
- ELLIS, W. D. Moisture sorption and swelling of wood-polymer composites. **Wood and Fiber Science**, n. 26, v. 3, p. 333-341, 1994.
- ELVY, S. B.; DENNIS, G. R.; NG L.-T. Effects of coupling agent on the physical properties of wood-polymer composites. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 48, p. 365-372, 1995.
- GALPERIN, A. S.; KULESHOV, G. G.; TARASHEVICH, V. I.; SHUTOV, G. M. Manufacturing and properties of modified wood: a review of 25 years work. **Holzforschung**, v. 49, p. 45-50, 1995.
- GOMES, O. F. **Estudo das ligações cavilhadas impregnadas com resinas estirênicas empregadas em estruturas de madeiras**. 1996. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- HAZER, B.; ORS, Y.; ALMA, M. H. Improvement of wood properties by impregnation with macromonomeric initiators (macroinimers). **Journal of Applied Polymer Science**, v. 47, p. 1097-1103, 1993.
- HILL, C. A. S.; JONES, D. The dimensional stabilisation of corsican pine sapwood by reaction with carboxylic acid anhydrides. **Holzforschung**, v. 50, p. 457-462, 1996.
- KANDEM, D. P.; RIEDL, B. Characterization of wood fibers by phenol-formaldehyde. **Colloid and Polymer Science**, v. 269, n. 6, p. 595-603, 1991.
- KUMAR, S. Chemical modification of wood. **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 2, p. 270-280, 1994.
- LAANTERA, M.; LINDBERG, J. J.; SNECK, A.; SOLJAMO, K. Degradation of the polymer structure wood by wetting and drying: viscoelasticity and morphology of the composite cell structure. **Pure and Applied Chemistry**, v. 30, n. 9-10, p. 715-726, 1993.
- MAGALHÃES, W. L. E. **Deposição de filmes protetores sobre madeira pela técnica do plasma frio**. 2002. 82 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Departamento de Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MAGALHÃES, W. L. E. **Impregnação de Pinus caribaea hondurensis com álcool furfúrico e tetra-etil-ortossilicato**. 1998. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SILVA, R. R. da. Treatment of caribbean pine by in situ polymerization of styrene and furfuryl alcohol. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 91, p. 1763-1769, 2004.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SILVA, R. R. da; SOUZA, M. F. de. Repelência da água e estabilização dimensional em *Pinus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Caderno de resumos**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. p. 190.
- MAGALHÃES, W. L. E.; SOUZA, M. F. de. Solid softwood coated with plasma-polymer for water repellence. **Surface and Coatings Technology**, v. 155, p. 11-15, 2002.

- MIROY, F.; EYMARD, P.; PIZZI, A. Wood hardening by methoxymethyl melamine. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 53, p. 276, 1995.
- MIYAFUJI, H.; SAKA, S. Fire resisting properties in several TiO₂ wood inorganic composites and their topochemistry. **Wood Science and Technology**, v. 31, n. 6, p. 449-455, 1997.
- NORIMOTO, M.; GRIL, J.; ROWELL, R. M. Rheological properties of chemically modified wood: relationship between dimensional and creep stability. **Wood and Fiber Science**, v. 24, n.1, p. 25-35, 1992.
- OHRING, M. **The materials science of thin films**. San Diego: Academic Press, 1992.
- PITTMAN, C. U.; KIM, M. G.; NICHOLAS, D. D.; WANG, L.; KABIR, F. R. A.; SCHULTZ, T. P.; INGRAM, L. L. Wood enhancement treatments. I. Impregnation of southern yellow pine with melamine-formaldehyde and melamine-ammeline-formaldehyde resins. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 14, n. 4, p. 577-603, 1994.
- PIZZI, A. A new approach to non-toxic, wide-spectrum, ground contact wood preservatives, Part I. **Holzforschung**, v. 47, p. 253-260, 1993a.
- PIZZI, A. A new approach to non-toxic, wide-spectrum, ground contact wood preservatives, Part II. **Holzforschung**, v. 47, p. 343-348, 1993b.
- PIZZI, A. The chemistry and kinetic behavior of Cu-Cr-As/B wood preservatives. IV. Fixation of CCA to wood. **Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry**, v. 20, p. 739-764, 1982.
- PIZZI, A.; BAECKER, A. A new boron fixation mechanism for enviromental friendly wood preservatives. **Holzforschung**, v. 50, p. 507-510, 1996.
- QUINNEY, R. F.; BANKS, W. B.; LAWThER, J. M. The activation of wood fibre for thermoplastic coupling: the reaction of wood with a potential coupling agent. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 15, n. 4, p. 529-544, 1995.
- ROWELL, R. M. Wood preservation and stabilization by chemical modification of the wood substance: In: JOHANSSON, I.; JOHANSSON, S. (Ed.). **Chemical aspects of wood technology**. Stockholm: Swedish Forest Products Research Laboratory, 1982. p. 32-49. (STFI-meddelande. Serie A, 772).
- ROWELL, R. M.; BANKS, W. B. Tensile strength and toughness of acetylated pine and lime flakes. **British Polymer Journal**, v. 19, p. 479-482, 1987.
- ROWELL, R. M.; BANKS, W. B. **Water repellency and dimensional stability of wood**. Madison: USDA, Forest Products Laboratory, 1985. 24 p. (USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. FPL-50).
- ROWELL, R. M.; FEIST, W. C.; ELLIS, W. D. Weathering of chemically modified southern pine. **Wood Science**, v. 13, n. 4, p. 202-208, 1981.
- ROWELL, R. M.; HART, S. V.; ESEThER, G. R. Resistance of alkylene-oxide modified southern pine to attack by subterranean termites. **Wood Science**, v. 11, n. 4, p. 271-274, 1979.
- ROWELL, R. M.; KONKOL, P. **Treatments that enhance physical properties of wood**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1987. 12 p. (USDA. For. Serv Gen.Tech. Rep. FPL-GTR-55).
- RUSAN, V.; POPA, V. I. Interferences between chemical components of wood and synthetic copolymers. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 26, p. 591-606, 1992.
- RYU, J. Y.; IMAMURA, Y.; TAKAHASHI, M. Biological resistance of furfuryl alcohol treated wood. In: ANNUAL MEETING, 23., 1992, Harrogate. **Preprinted abstracts**. [S.l.: s.n.], 1992.
- SAKA, S.; UENO, T. Several SiO₂ wood inorganic composites and their fire resisting properties. **Wood Science and Technology**, v. 31, p. 457-66, 1997.
- SCHNEIDER, M. H. New cell wall and lumen wood polymer composites. **Wood Science and Technology**, v. 29, p. 121-127, 1995.

STAMM, A. J. Dimensional stabilization of wood with furfuryl alcohol resin. In: GOLDSTEIN, I. S. (Ed.).

Wood technology: chemical aspects. Washington, DC: American Chemical Society, 1977. p. 141-149. (ACS symposium series, 43).

SUN, B. C.; HAWKE, R. N. Flexural strengths of performance-designed wood fiber composites. **Journal of Advanced Material**, v. 27, n. 3, p. 45-50, 1996.

TURNER, P.; MURPHY, R. J. Treatment of timber products with gaseous borate esters. **Wood Science and Technology**, v. 23, p. 273-279, 1995.

YAMAGUCHI, H. Preparation and physical properties of wood fixed with silicic acid compounds. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 40, n. 8, p. 838-845, 1994a.

YAMAGUCHI, H. Properties of silicic acid compounds as chemical agents for impregnation and fixation of wood. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 40, n. 8, p. 830-837, 1994b.

YASUDA, R.; MINATO, K. Chemical modification of wood by non-formaldehyde cross-linking reagents. **Wood Science and Technology**, v. 29, p. 243-251, 1995.

Embrapa

Florestas

CGPE 7247

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

