

ARTIGO ORIGINAL

Crescimento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima em diferentes espaçamentos de plantio para a produção de biomassa

Growth and mortality of *Tachigali vulgaris* L. G. Silva and H. C. Lima in different planting spacing for biomass production

Richard Pinheiro Rodrigues¹ , Delman de Almeida Gonçalves² , Arystides Resende Silva² , Walmer Bruno Rocha Martins¹ , Luiz Fernandes Silva Dionisio³ , Gustavo Schwartz² 

¹Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém, PA, Brasil

²Embrapa Amazônia Oriental – EMBRAPA, Belém, PA, Brasil

³Universidade do Estado do Pará – UEPA, Belém, PA, Brasil

Como citar: Rodrigues, R. P., Gonçalves, D. A., Silva, A. R., Martins, W. B. R., Dionisio, L. F. S., & Schwartz, G. (2020). Crescimento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima em diferentes espaçamentos de plantio para a produção de biomassa. *Scientia Forestalis*, 48(128), e3269. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.01>

Resumo

A dinâmica de crescimento de espécies florestais nativas implantadas em diferentes espaçamentos é fundamental para que os manejadores possam cultivá-las em larga escala. Nesse sentido, foi avaliado o processo dinâmico de incremento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C.Lima em diferentes espaçamentos de plantio em uma área experimental da empresa Jari Celulose S.A, no município de Almeirim, Pará, Brasil. Os tratamentos consistiram em diferentes espaçamentos: T1= 3,0 m x 1,5 m; T2= 3,0 m x 2,0 m; T3= 3,0 m x 2,5 m; T4= 3,0 m x 3,0 m; T5= 3,0 m x 3,5 m e T6= 3,0 m x 4,0 m. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas no tempo, sendo três parcelas por tratamento e seis tempos de avaliação. Os espaçamentos 3,0 m x 3,0 m e 3,0 m x 4,0 m apresentaram maiores taxas de crescimentos em altura, volume, área basal e diâmetro, a partir de cinco anos de plantio. Os espaçamentos 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m apresentaram menores taxas de mortalidade. Nos espaçamentos 3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 3,5 m, 3,0 m x 4,0 m, foram observadas diminuições consideráveis do incremento corrente anual aos quatro anos de idade. O espaçamento 3,0 m x 3,0 m torna-se o mais indicado para plantios de *T. vulgaris*, pois apresentou maior produtividade em biomassa aos seis anos de idade e menor taxa de mortalidade.

Palavras-chave: Silvicultura de florestas plantadas; Desbaste; Dinâmica de crescimento; Densidades de plantio.

Abstract

Growth dynamics of native tree species in different planting spacing is fundamental for managers in order to cultivate these species on a large scale. Hence, the dynamic process of increment and mortality of *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima was assessed under different planting spacing in an experimental area of the forestry company Jari Celulose S.A, in Almeirim municipality, Pará State, Brazil. Treatments consisted in different planting spacing: T1= 3.0 m x 1.5 m; T2= 3.0 m x 2.0 m; T3= 3.0 m x 2.5 m; T4= 3.0 m x 3.0 m; T5= 3.0 m x 3.5 m, and T6= 3.0 m x 4.0 m. The experimental design was randomized blocks with subdivided plots over time, with three plots per treatment and six evaluation times. From the fifth year after planting, the planting spacing of 3.0 m x 3.0 m and 3.0 m x 4.0 m presented the highest growth rates in height, volume, basal area, and diameter. The planting spacing of 3.0 m x 3.5 m and 3.0 m x 4.0 m presented the lowest mortality rates. In the planting spacing of 3.0 m x 1.5 m, 3.0 m x 3.0 m, 3.0 m x 3.5 m, and 3.0 m x 4.0 considerable decreases in the periodic annual increment from the fourth year after planting was

Fonte de financiamento: Nenhuma

Conflito de interesse: Nada a declarar

Autor correspondente: richard.rodrigues22@hotmail.com

Recebido: 1 fevereiro 2019.

Aceito: 7 outubro 2019.

Editor: Paulo Henrique Müller Silva.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

observed. The planting spacing of 3.0 m x 3.0 m is the most indicated for planting *T. vulgaris*, since it had the highest biomass productivity and the lowest mortality rate in six years after planting.

Keywords: Silviculture of planted forests; Thinning; Growth dynamics; Density of plantings.

INTRODUÇÃO

A demanda mundial por produtos madeireiros e a crescente preocupação com a conservação dos recursos florestais naturais impulsionam o plantio de espécies florestais com potencial econômico. No cenário atual, o conhecimento envolvendo a implantação e a formação de povoamentos florestais é essencial para redução dos custos de implantação e manutenção do povoamento, tendo em vista que a correta utilização das técnicas de plantio pode otimizar o processo de formação do povoamento com consequente redução dos gastos (Leles et al., 2011).

Atualmente, no Brasil, em relação aos povoamentos comerciais, há um predomínio do plantio de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, os quais representam mais de 7 milhões de hectares (Indústria Brasileira de Árvores, 2017). Entretanto, a opção por espécies nativas pode significar uma alternativa mais vantajosa e adequada para pequenos produtores locais e plantios em menor escala, e não deve ser descartada (Orellana et al., 2018).

O plantio de espécies florestais com fins energéticos, ou florestas energéticas, visa uma maior produção sustentável de biomassa por unidade de área em um menor espaço de tempo. Uma vantagem do uso de florestas energéticas é a não obrigatoriedade de colher o produto anualmente. Outro diferencial é o múltiplo uso da madeira que possibilita ao produtor vender o produto ao mercado mais atraente, quando a logística permitir, maximizando sua rentabilidade (Vidal & Hora, 2011, Orellana et al., 2018).

O potencial das florestas energéticas depende principalmente da produtividade da biomassa lenhosa das espécies plantadas, das características da madeira (sobretudo densidade e poder calorífico), do incremento médio anual, das técnicas silviculturais aplicadas e das habilidades de adaptação das espécies às diferentes condições edafoclimáticas (Pérez et al., 2014).

Na região do bioma Amazônia, ocorrem muitas espécies nativas com grande potencial econômico, dentre elas destaca-se *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima (Fabaceae-Caesalpinioidea), popularmente conhecida como tachi-branco. É uma espécie pioneira que inicia a sucessão secundária em áreas abertas (Carvalho, 1994; Stallbaun et al., 2016) e tem alta capacidade de produção de biomassa, rápido crescimento e alta resistência a perturbações ambientais (Felfili et al., 1999). Além disso, *T. vulgaris* apresenta alto potencial para reflorestamento e produção de biomassa para energia (Dias et al., 1992; Sousa et al., 2016), com potencial para se tornar um produto substituto ao *Eucalyptus* em plantios florestais (Farias et al., 2016).

Em plantios comerciais para a produção de madeira ou biomassa, a definição sobre o espaçamento inicial entre as árvores é uma das decisões mais importantes para o sucesso do empreendimento. Essa decisão afeta a formação das florestas, a necessidade de tratamentos silviculturais, a qualidade da madeira, a produtividade dos plantios, a colheita florestal e, conseqüentemente, os custos da produção, principalmente para as espécies de rápido crescimento (Leles et al., 1998). Nesse sentido, os povoamentos que empregam espécies que podem ser destinadas para diferentes usos, a correta definição do espaçamento é determinante para o sucesso do plantio (Leite et al., 2006).

Para a produção de madeira com fins energéticos, normalmente recomenda-se espaçamentos mais adensados para se obter o maior volume de biomassa por unidade de área (Couto & Müller, 2008). No entanto, o adensamento das plantas aumenta a competição por nutrientes, o que pode reduzir as taxas de crescimento e aumentar as taxas de mortalidade dos indivíduos. Assim, a escolha do espaçamento de plantio deve permitir aos indivíduos maiores incrementos volumétricos por unidade de área, biomassa e menores taxas de mortalidade, características associadas aos objetivos da produção (Tonini et al., 2018).

Estudos com espécies florestais nativas são necessários para que se obtenha indicativos do potencial de uso para fins energéticos (Costa et al., 2014) e que concomitantemente essas espécies possam ser implantadas em áreas extensas, como já ocorre com a eucaliptocultura no Brasil. Neste estudo, os efeitos de diferentes espaçamentos sobre o crescimento e mortalidade de *T. vulgaris* foram avaliados para responder a seguinte pergunta: o espaçamento de plantio influencia nas taxas de crescimento e mortalidade de *T. vulgaris* em plantios comerciais para a produção de biomassa para energia?

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido na área de manejo florestal da empresa Jari Florestal SA, nas coordenadas 0° 52'42" S e 52° 29' 51" W, no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará, Brasil (Figura 1). A Jari Florestal tem área total de 545.535 ha, sendo a maior parte da área destinada a manejo de florestas nativas e ao plantio de eucalipto para a produção de celulose.

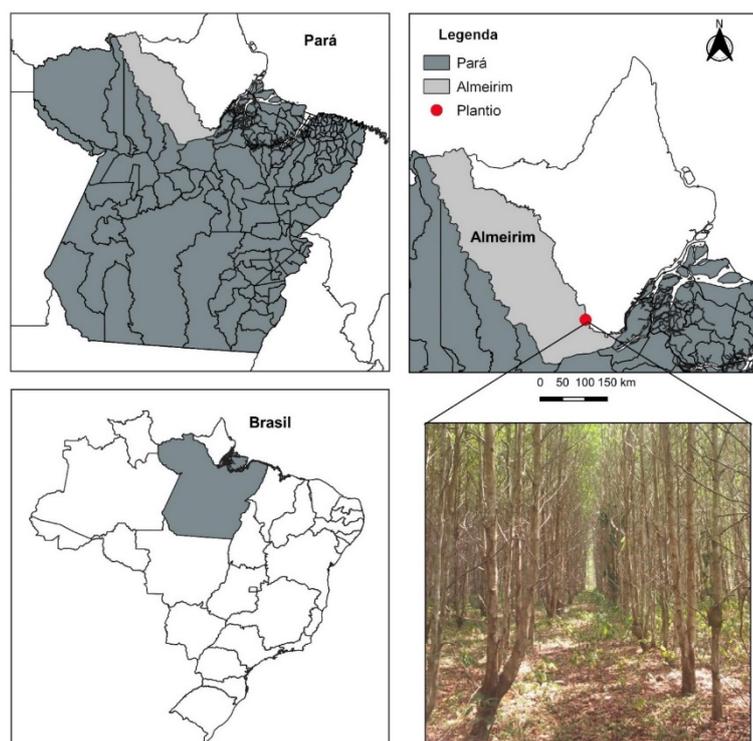


Figura 1. Distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, PA, Brasil, onde se localiza a área do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* em estudo.

O ecossistema florestal característico da região é do tipo Floresta Ombrófila Densa (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012) e, de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo "Am" (tropical chuvoso) com breve estação seca (Andrade et al., 2017). A precipitação total anual varia entre 1.998,2 e 2.347,7 mm e a temperatura média anual é de 26,4 °C. Os meses mais chuvosos são março, abril e maio e os menos chuvosos são setembro, outubro e novembro. O plantio em estudo encontra-se em solo do tipo Latossolo Amarelo distrófico com textura média.

Implantação e condução do experimento de plantio

Os indivíduos de *Tachigali vulgaris* foram propagados via sementes oriundas de cinco diferentes procedências: municípios de Santarém, Belterra e em dois pontos de Almeirim no Pará e ao longo da estrada que liga Laranjal do Jari a Macapá no Amapá. Foram realizadas diferentes atividades de manutenção na área do experimento antes e após o plantio, sendo aplicados os mesmos tratamentos culturais em todas as parcelas do experimento nos três primeiros anos (Tabela 1).

Tabela 1. Atividades de instalação e manutenção pré- e pós-plantio de *Tachigali vulgaris* na área de plantio florestal da empresa Jari, distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará, Brasil.

Atividades	1º ano	2º ano	3º ano
Limpeza mecanizada	x		
Limpeza química mecanizada pós-emergente com barra	x		
Subsolagem e fosfatagem com trator de pneu	x		
Aplicação de calcário comercial (402 kg.ha ⁻¹)	x		
Controle de formigas cortadeiras	x		
Coveamento com motocoveadora	x		
Plantio	x		
Primeira adubação pós plantio: (150 kg.ha ⁻¹ NPK 6-30-6)	x		
Levantamento de sobrevivência das mudas	x		
Replantio	x		
Limpeza manual de manutenção	x	x	x
Controle de formigas cortadeiras (ronda)	x		
Segunda adubação (60 dias pós plantio:85 kg.ha ⁻¹ NPK 6-30-6)	x		
Monitoramento de pragas e doenças		x	x
Limpeza do plantio com motorroçadeira		x	x
Avaliação de crescimento das plantas		x	x

Delineamento experimental

O experimento foi instalado em 2010, em diferentes espaçamentos, com os dados de crescimento e mortalidade sendo coletados em 2011; 2012; 2013; 2014; 2015 e 2016 (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos e espaçamentos de plantio testados para *Tachigali vulgaris* em experimento instalado na área da empresa Jari, distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará, Brasil.

Tratamentos	Espaçamentos (m)	Densidade de árvores (ind. ha ⁻¹)	Número de árvores avaliadas	Área útil da parcela (m ²)
T1	3,0 x 1,5	2.222,22	49	220,5
T2	3,0 x 2,0	1.666,67	49	294,0
T3	3,0 x 2,5	1.333,33	49	367,5
T4	3,0 x 3,0	1.111,11	49	441,0
T5	3,0 x 3,5	952,38	49	514,5
T6	3,0 x 4,0	833,33	49	588,0

O delineamento utilizado foi completamente randomizado em três blocos com seis parcelas cada (tratamentos T1; T2; T3; T4; T5 e T6) subdivididas no tempo entre 2011 e 2016. No centro de cada parcela foram mensuradas 49 árvores para se excluir os efeitos de borda. No total, foram monitoradas 18 parcelas ao longo do tempo, onde as seguintes variáveis foram coletadas: altura total, circunferência a altura do peito (CAP, medido a 1,3 m do nível do solo) de todos os indivíduos maior ou igual a 15 cm e a quantificação do número de árvores vivas.

Análise de dados

Os dados de diâmetro à altura do peito (DAP) foram obtidos a partir da transformação de dados de CAP. Além do DAP, foram calculados a área basal ($m^2 ha^{-1}$), volume ($m^3 ha^{-1}$) e altura total. Para o cálculo do volume das árvores, utilizou-se o fator de forma 0,5, utilizado em plantios florestais.

A partir do terceiro ano de plantio, alguns indivíduos de *T. vulgaris* começaram a apresentar mais de um fuste, número que chegou até cinco fustes por indivíduo em algumas situações, principalmente nos tratamentos com espaçamentos mais amplos. Para estes casos, utilizou-se o diâmetro equivalente (DAPequivalente) (Equação 1) (Soares et al., 2012).

$$DAP_{equivalente} = \sqrt{\sum_{i=1}^n di^2} \quad (1)$$

Onde: DAPequivalente: diâmetro equivalente; di: diâmetro de cada fuste do indivíduo ramificado.

Incremento corrente anual em volume (ICA)

O ICA foi calculado para a variável volume a qual foi correlacionada com o incremento médio anual em volume para verificar a estagnação teórica do plantio em seis espaçamentos (Equação 2).

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)} \quad (2)$$

Onde: ICA = incremento corrente anual em volume por hectare; $Y_{(t+1)}$ = produção da variável volume por hectare na idade posterior; $Y_{(t)}$: produção da variável volume por hectare na idade anterior.

Incremento médio anual em volume (IMA)

O IMA foi calculado para a variável volume, a qual foi correlacionada com o incremento corrente anual em volume para verificar a estagnação teórica do plantio, para os seis espaçamentos analisados (Equação 3).

$$IMA = Y_t / t_o \quad (3)$$

Onde: IMA = incremento médio anual em volume por hectare; Y = produção da variável volume em uma determinada idade; to = idade a partir do tempo zero ou idade do plantio.

Taxa de mortalidade

Foram calculadas as taxas anualizadas de mortalidade dos indivíduos de *T. vulgaris*, por espaçamento de acordo com a Equação 4:

$$m = [1 - (N_{t2} / N_{t1})^{(1/t)}] * 100 \quad (4)$$

Onde: N_{t1} = número de árvores vivas na amostragem inicial, N_{t2} = número de árvores que sobreviveram até a segunda amostragem, e t = anos entre a primeira e a segunda amostragem (Sheil et al., 1995).

Para a comparação das respostas de *T. vulgaris* a seis diferentes espaçamentos ao longo do tempo, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas no tempo, para as variáveis, volume ($m^3 ha^{-1}$), área basal ($m^2 ha^{-1}$), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das árvores.

Quanto à taxa de mortalidade, volume, área basal, diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total também foi utilizada a ANOVA de medidas repetidas no tempo. Para o volume, utilizou-se a transformação $\text{Log}(x + 1)$. Para a área basal foi usada a transformação $\text{Ln}(\sqrt{G})$ e para o DAP a transformação $(\sqrt{x} + 1)$. Em caso de diferença significativa entre tratamentos, foi utilizado o teste post-hoc de Tukey para a comparação das médias. As análises foram realizadas no programa estatístico R versão 3.5.1, ao nível de $p < 0,05$ de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Volume, área basal, diâmetro e altura total

Ao comparar os diferentes espaçamentos para as variáveis volume (Figura 2A) e a área basal (Figura 2B), observou-se que, os espaçamentos mais adensados de 3 m x 1,5 m e 3 m x 2 m nos primeiros anos apresentaram valores superiores estatisticamente. Isso, pode ser justificado em decorrência as árvores de *T. vulgaris* estarem em constante crescimento inicial volumétrico, fortemente afetado pela variável altura, tendo em vista que neste estágio de crescimento não houve ainda um incremento expressivo de DAP e, portanto, pouco volume por indivíduo (Schneider et al., 2000; Rondon, 2002).

Contudo, observou-se um maior volume e área basal no espaçamento 3 m x 3 m aos cinco e seis anos pós-plantio (Figura 2A e 2B, respectivamente), o que sugere uma maior influência do crescimento individual em volume das árvores neste espaçamento. Este espaçamento é um dos menos adensados do experimento, assim apresenta maior tendência de crescimento por ter um número menor de indivíduos em relação aos espaçamentos mais adensados, como também observado por Lima et al. (2013) para *Pinus taeda*.

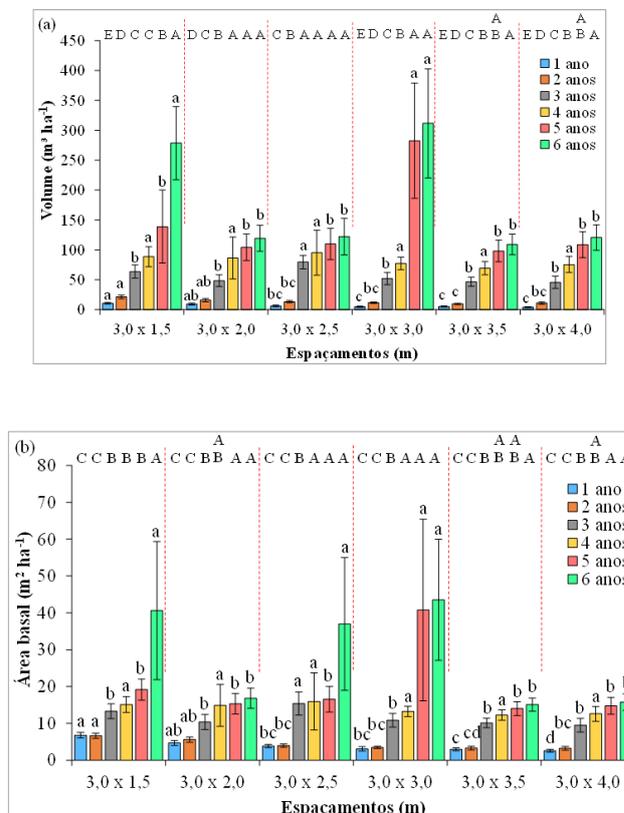


Figura 2. Médias (\pm DP) para volume (a) e área basal (b) em diferentes espaçamentos e anos de medição de *Tachigali vulgaris* no município de Almeirim, PA, Brasil. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, letras minúsculas indicam diferenças de espaçamentos num mesmo ano e letras maiúsculas indicam diferenças no tempo num mesmo espaçamento em ANOVA com o teste post-hoc de Tukey a 5% de probabilidade.

A disputa de espaço por luz pode ter sido um dos fatores limitantes para o menor desenvolvimento em diâmetro de *T. vulgaris* em espaçamentos adensados (Figura 3A). Isto ficou mais evidente nos últimos anos de medição, onde houve um aumento expressivo do crescimento das árvores nos plantios. Segundo Freitas et al. (2012), por se tratar de uma espécie pioneira e heliófila, *T. vulgaris* pode apresentar sérias restrições em seu crescimento caso as condições de espaçamento sejam restritas. Isto justifica o resultado encontrado no presente estudo para a maioria das variáveis de crescimento estudadas. Farias et al. (2016) afirmam que *T. vulgaris*, quando em condições de pleno sol, apresenta rápido crescimento, boa formação de biomassa e boa forma do fuste.

Quanto à variável altura total (Figura 3B), observa-se que ao comparar os anos de medição dentro de cada espaçamento, houve um aumento constante desta variável entre a maioria dos anos, exceto nos dois últimos anos (5 e 6 anos pós-plantio), os quais foram estatisticamente iguais entre si. Isto evidencia a alta correlação existente entre crescimento em altura e a idade do povoamento. Porém, ao comparar os espaçamentos entre si ao longo dos seis anos de acompanhamento, é possível notar que nas cinco primeiras medições, a altura não foi influenciada pelos diferentes espaçamentos.

Apenas nos anos de 2015 e 2016 houve diferença de altura entre os espaçamentos. Isto pode ser explicado pelo fato de que a influência do espaçamento na variável altura em muitos casos não é muito clara, especialmente quando o povoamento é ainda muito jovem (Balloni & Simões, 1980). Quanto aos anos de 2015 e 2016, os espaçamentos 3 x 4 m, 3 x 3,5 m e 3 x 2,5 m foram os que apresentaram os maiores valores de altura total (Figura 3B).

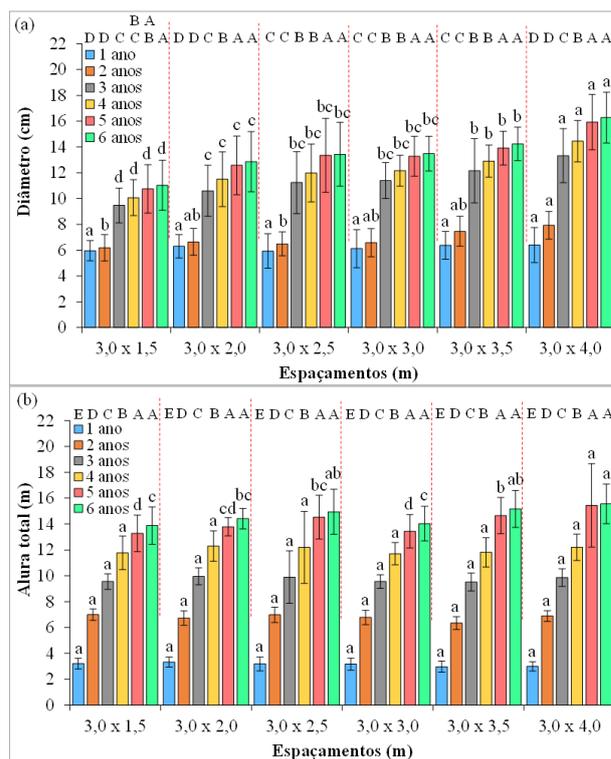


Figura 3. Médias (\pm DP) para diâmetro (a) e altura total (b) em diferentes espaçamentos e anos de medição de *Tachigali vulgaris* no município de Almeirim, PA, Brasil. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, letras minúsculas indicam diferenças de espaçamentos num mesmo ano e letras maiúsculas indicam diferenças no tempo num mesmo espaçamento em ANOVA com o teste post-hoc de Tukey a 5% de probabilidade.

Nascimento et al. (2012) compararam o crescimento em altura de seis espécies florestais sob diferentes espaçamentos e também constataram que não houve um padrão claro do comportamento da variável altura em relação aos espaçamentos. Rondon (2006) obtiveram

conclusões semelhantes quanto à altura ao observar que diferentes espaçamentos não influenciaram estatisticamente esta variável em um experimento com plantio de *Tectona grandis* (Teca).

Taxa de mortalidade

As maiores taxas de mortalidade foram observadas nos menores espaçamentos (3 x 1,5 m e 3 x 2 m), os quais não diferiram significativamente entre si ($p = 0,997$). Os espaçamentos 3 x 2,5 m e 3 x 3 m não diferiram estatisticamente de nenhum dos outros tratamentos, enquanto os tratamentos com maior espaçamento apresentaram os menores índices de mortalidade, diferindo significativamente dos espaçamentos 3 x 1,5 m e 3 x 2 m (Figura 4).

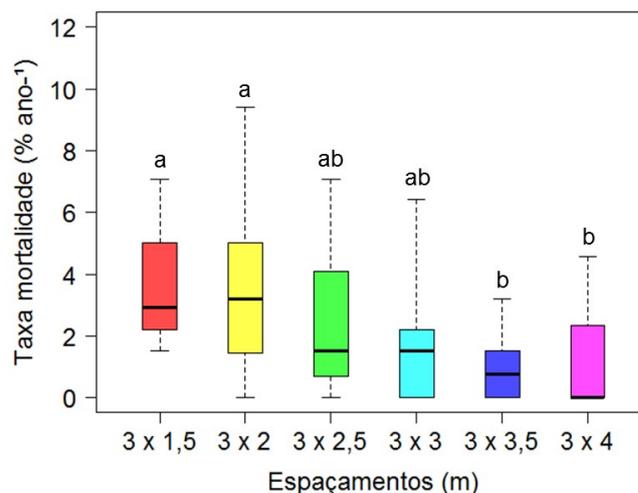


Figura 4. Taxa de mortalidade de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos no período de seis anos, no município de Almeirim, PA, Brasil. A linha horizontal mais grossa representa a mediana, a caixa o intervalo interquartil e as linhas tracejadas os valores extremos. Letras indicam diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) em ANOVA, com o teste post hoc de Tukey entre os tratamentos.

Este resultado evidencia a grande suscetibilidade de *T. vulgaris* à competição intraespecífica, a qual é significativamente acentuada quando espaçamentos menores são adotados. Por se tratar de uma espécie pioneira, exigente em luz plena e constante, sabe-se que a mesma é extremamente sensível à competição por este fator abiótico, o que acaba por comprometer significativamente a sua sobrevivência (Freitas et al., 2012; Farias et al., 2016). Narducci et al. (2016) estudaram o crescimento e a sobrevivência em plantios de *T. vulgaris* em diferentes espaçamentos. Os autores observaram que houve uma diminuição de sobrevivência conforme reduziu-se o seu espaçamento de plantio. Resultados semelhantes foram encontrados por Sousa (2011) ao avaliar os índices de mortalidade e de sobrevivência para o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), tendo o espaçamento mais adensado um índice de sobrevivência de 82,2% contra os 91,4% do espaçamento menos adensado.

Incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) em volume

O ICA e o IMA em todos os espaçamentos apresentaram um ou mais picos e posteriormente houve um decréscimo (Figura 5). A queda no incremento de volume é caracterizada pela estagnação teórica do crescimento, ponto em que se atinge o limite de luz, água e nutrientes suficientes para permitirem a continuidade de crescimento dos indivíduos. Segundo Balloni & Simões (1980), tal estagnação mostra um intervalo de tempo menor para espaçamentos mais adensados.

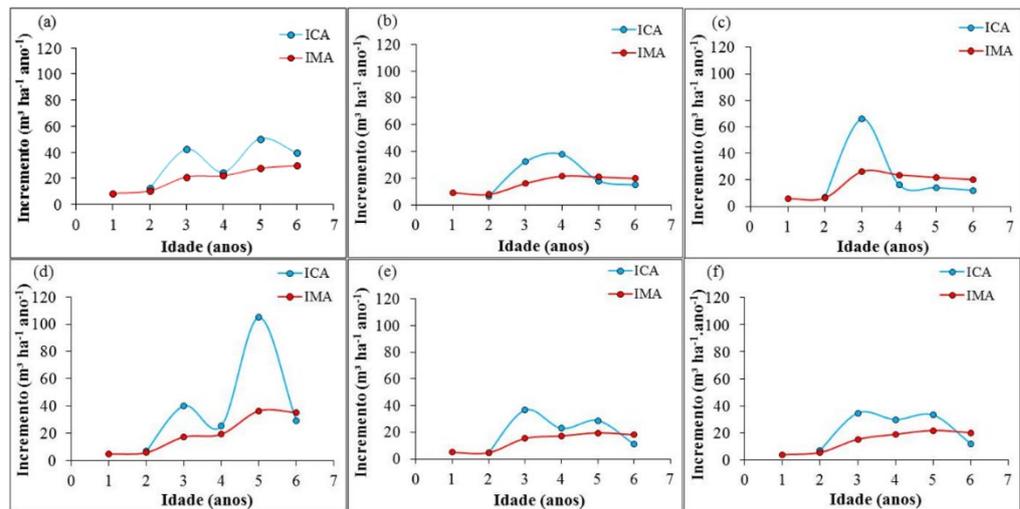


Figura 5. Incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) em volume de *Tachigali vulgaris* em função da idade e diferentes espaçamentos no município de Almeirim, PA, Brasil. (a) 3,0 x 1,5 m, (b) 3,0 x 2 m, (c) 3,0 x 2,5 m, (d) 3,0 x 3,0 m, (e) 3,0 x 3,5 m e (f) 3,0 x 4,0 m.

Arco-Verde & Schwengber (2003) constataram que o *T. vulgaris* apresentou um IMA de 24,43 m³ ha⁻¹ aos três anos de idade, sendo considerado superior em relação às outras espécies também avaliadas por estes autores, tais como *Ceiba pentandra* (Samaúma), *Centrolobium paraensis* (Pau-Rainha), *Jacaranda copaia* (Pará-pará), *Scheffera morototoni* (Morototó) e *Tectona grandis*.

Quanto ao ICA, é possível perceber que em alguns espaçamentos houve um aumento do segundo para o terceiro ano, com um decréscimo ocorrendo no quarto ano e um posterior acréscimo a partir do quinto (Figura 5). Isto pode ser explicado pela mortalidade ocorrida em todos os espaçamentos, mesmo naqueles em que este índice foi menor. O maior pico de ICA foi observado nos espaçamentos 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m, indicando, possivelmente, um crescimento mais equilibrado do volume nestes dois espaçamentos.

Outro fator interessante é que, para a maioria dos espaçamentos, ICA e IMA se igualam próximo dos cinco anos de idade do povoamento, considerado a idade ótima de intervenção silvicultural, como o corte raso ou desbastes. Após esse período, haverá um decréscimo no aumento volumétrico e possivelmente aumento da mortalidade dos indivíduos, diminuindo, por conseguinte a viabilidade econômica do empreendimento (Campos & Leite, 2017; Narducci et al., 2016; Sousa et al., 2016).

Recomenda-se o plantio de *T. vulgaris* no espaçamento de 3 m x 3 m para se obter alto crescimento e baixa mortalidade, o que vem a otimizar a produção de biomassa para produção de energia. Devido à estabilização no crescimento dos indivíduos a partir do quinto ano de plantio, recomenda-se a colheita, pois esse é o momento de maior biomassa do plantio.

Além da avaliação do efeito dos diferentes espaçamentos nas variáveis dendrométricas (volume, área basal, diâmetro e altura total), recomenda-se analisar o efeito destes espaçamentos nas variáveis tecnológicas e de espaçamentos mais adensados. Isto é importante, pois o *T. vulgaris* é uma espécie reconhecida para produção energética (Orellana et al., 2018; Tonini et al., 2018), tanto em pequena escala (lenha) como em grande escala (abastecimento de caldeiras de industriais).

CONCLUSÕES

Para o plantio homogêneo de *Tachigali vulgaris* os espaçamentos 3,0 m x 2,5 m, 3,0 m x 3,0 m e 3,0 m x 3,5 m apresentaram bons resultados para fins energéticos. Entretanto, o espaçamento 3,0 m x 3,0 m, é o considerado mais indicado, pois apresentou maior produtividade em biomassa aos seis anos de idade, e menor taxa de mortalidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Jari Celulose S/A por todo apoio prestado ao desenvolvimento desta pesquisa e ao professor Paulo Luiz C. de Barros para tornar esse trabalho possível. O primeiro autor também agradece a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- Andrade, V. M. S., Cordeiro, I. M. C. C., Schwartz, G., Vasconcelos, L. G. T. R., & Oliveira, F. A. (2017). *Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da mesorregião nordeste paraense. Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias* (323 p.). Belém: EDUFRA.
- Arco-Verde, M. F., & Schwengber, D. R. (2003). Avaliação silvicultural de espécies florestais no estado de Roraima. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, 1(3), 59-63. <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i3.14949>.
- Balloni, E. A., & Simões, J. W. (1980). O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. *Série Técnica IPEF*, 1(3), 1-16.
- Campos, J. C. C., & Leite, H. G. (2017). *Mensuração Florestal: perguntas e respostas* (5. ed., 636 p.). Viçosa: Editora UFV.
- Carvalho, P. E. R. (1994). *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira* (640 p.). Colombo: EMBRAPA-CNPQ.
- Costa, T. G., Bianchi, M. L., Protásio, T. P., Trugilho, P. F., & Pereira, A. J. (2014). Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. *Cerne*, 20(1), 37-46. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602014000100005>.
- Couto, L., & Müller, M. D. (2008). Florestas Energéticas no Brasil. In L. A. B. Cortez, E. E. S. Lora & E. O. Gómez (Orgs.), *Biomassa para energia* (Vol. 1, pp. 93-108). Campinas: Editora da Unicamp.
- Dias, L. E., Jucksch, J., Alvarez, V. H., Barros, N. F., & Brienza Junior, S. (1992). Formação de mudas de táxi-branco (*Sclerobium paniculatum* Vogel): resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. *Revista Árvore*, 2(16), 135-143.
- Farias, J., Marimon, B. S., Silva, L. C. R., Petter, F. A., Andrade, F. R., Morandi, P. S., & Marimon-Junior, B. H. (2016). Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 368, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- Felfili, J. M., Hilgert, L. F., Franco, A. C., Sousa-Silva, J. C., Resende, A. V., & Nogueira, M. V. P. (1999). Comportamento de plântulas de *Sclerobium paniculatum* Vog. Var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. *Revista Brasileira de Botânica. Brazilian Journal of Botany*, 22(2), 297-301.
- Freitas, G. A., Vaz-De-Melo, A., Pereira, M. A. B., Andrade, C. A. O., Lucena, G. N., & Silva, R. R. (2012). Influência do sombreamento na qualidade de mudas de *Sclerobium paniculatum* Vogel para recuperação de área degradada. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 3(3), 5-12. <http://dx.doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n3.freitas>.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2017). *Relatório 2017* (80 p.). Recuperado em 20 de agosto de 2019, de <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Manual técnico vegetação brasileira* (2. ed., 271 p.). Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 20 de agosto de 2019, de <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>
- Leite, H. G., Nogueira, G. S., & Moreira, A. M. (2006). Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus Taeda* L. R. *Árvore*, 30(4), 603-612.
- Leles, P. S. S., Abaurre, J. W., Alonso, J. M., Nascimento, D. F., & Lisboa, A. C. (2011). Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. *Scientia Forestalis*, 39(90), 231-239.
- Leles, P. S. S., Reis, G. G., Reis, M. G. F., & Moraes, E. J. (1998). Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. *Revista Árvore*, 22(1), 41-50.
- Lima, R., Inoue, M. T., Figueiredo Filho, A., Araujo, A. J., & Machado, S. A. (2013). Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. *Floresta e Ambiente*, 2(20), 223-230. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2013.001>.

- Narducci, T. S., Yared, J. A. G., & Brienza Júnior, S. (2016). Growth and survival of *Sclerobium paniculatum* Vogel and the relationship between rainfall and the increment in diameter at different planting spacings. *Revista Árvore*, 40(3), 447-454. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000300008>.
- Nascimento, D. F., Leles, P. S. S., Oliveira Neto, S. N., Moreira, R. T. S., & Alonso, J. M. (2012). Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. *Cerne*, 18(1), 159-165. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000100019>.
- Orellana, B., Vale, A. T., Gonçalves, J., Guedes, M., Orellana, J., & Lima, C. (2018). Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia. *Nativa*, 6(No. esp.), 773-781.
- Pérez, S., Renedo, C. J., Ortiz, A., Delgado, F., & Fernández, I. (2014). Energy potential of native shrub species in northern Spain. *Renewable Energy*, 62, 79-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.048>.
- Rondon, E. V. (2002). Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. *Revista Árvore*, 26(5), 573-576. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500007>.
- Rondon, E. V. (2006). Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.F. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. *Revista Árvore*, 30(3), 337-341. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000300003>.
- Schneider, P. R., Fleig, F. D., Finger, C. A. G., & Klein, J. E. M. (2000). Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* de Wild em diferentes espaçamentos. *Ciência Florestal*, 10(2), 101-112. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098484>.
- Sheil, D., Burslem, D. F. R. P., & Alder, D. (1995). The interpretation and misinterpretation of mortality-rate measures. *Journal of Ecology*, 83(2), 331-333. <http://dx.doi.org/10.2307/2261571>.
- Soares, C. P. B., Paula Neto, F., & Souza, A. L. (2012). *Dendrometria e inventário florestal* (2. ed., 272 p.). Viçosa: Editora UFV.
- Sousa, V. G. (2011). *Comportamento silvicultural e dinâmica de serapilheira em plantios de duas espécies florestais na Amazônia oriental brasileira* (Dissertação de mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa, Belém.
- Sousa, V. G., Brienza Junior, S., Barbosa, M. G., Martorano, L. G., & Silva, V. C. (2016). *Taxi-branco (Tachigali vulgaris L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima): botânica, ecologia e silvicultura*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Stallbaun, P. H., Baraúna, E. E. P., Monteiro, T. C., Vieira, R. S., Sales, N. D. L. P., & Oliveira, L. S. (2016). Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), 459-463. <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1231>.
- Tonini, H., Schwengber, D. R., Morales, M. M., & Oliveira, J. M. F. (2018). Crescimento e qualidade energética de madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38, 1-8. <http://dx.doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801569>.
- Vidal, A. C. F., & Hora, A. B. (2011). Perspectivas do setor de biomassa de madeira para geração de energia. *BNDES Setorial*, 33, 261-314.

Contribuição dos autores: RPR: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; DAG: conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, supervisão, escrita – primeira redação; ARS: conceituação, investigação, metodologia, supervisão, escrita – primeira redação; WBRM: conceituação, metodologia, supervisão, escrita – primeira redação; LFS: curadoria de dados, análise formal, metodologia, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; GS: conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, supervisão, escrita – primeira redação.