

Crescimento e produção de florestas energéticas de *Tachigali vulgaris*

Alvaro Augusto Vieira Soares
Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Thiago de Paula Protásio
Arystides Resende Silva
Delman de Almeida Gonçalves

Introdução

O tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima) é uma espécie arbórea da família Fabaceae de ampla distribuição geográfica, que ocorre desde o bioma Amazônia até o Cerrado e a Mata Atlântica (Rolim; Piotto, 2018). É uma espécie heliófila, colonizadora de áreas, portanto, iniciadora do processo de sucessão secundária (Carvalho, 2005).

Esta espécie é conhecida popularmente como carvoeiro, o que remete à utilização tradicional de sua madeira para a produção de carvão. Ao caracterizarem a madeira de árvores de tachi-branco, alguns estudos, tais quais Tomaselli et al. (1983), Vale et al. (2002), Orellana (2015) e Silva et al. (2021), ressaltaram sua adequabilidade para fins energéticos, o que faz com que essa espécie seja considerada uma promissora alternativa para o setor industrial de energia da biomassa.

Seu potencial não se restringe somente à aplicação comercial. O tachi-branco é uma espécie de grande utilidade para a recuperação de áreas degradadas devido à sua característica de rápido crescimento com abundante deposição e incorporação de matéria orgânica ao solo (Dias et al., 1995; Farias et al., 2016) e pela sua rusticidade, tendo forte capacidade de adaptação em condições desfavoráveis de fertilidade (Carpanezzi et al., 1983; Coutinho, 2008). Além disso, a sua associação com bactérias do gênero *Rhizobium* (Faria et al., 1984) lhe confere a capacidade de fixar nitrogênio no solo, o que a reforça o seu potencial como importante opção aos reflorestamentos para fins de recuperação ambiental (Dias et al., 1995).

Apesar destas fortes potencialidades, as pesquisas sobre a ecologia, silvicultura e manejo do tachi-branco ainda se encontram na sua fase inicial, especialmente quando comparado às espécies predominantes da silvicultura brasileira, como os eucaliptos e pinus. Além disso, ainda são necessárias avaliações para que se conheça o comportamento desta espécie em diferentes condições ambientais e de manejo para que sejam traçadas referências de prescrições silviculturais a compor regimes de manejo adequados aos objetivos propostos.

Um dos alicerces para o desenvolvimento da silvicultura e do manejo de uma espécie é o conhecimento do seu padrão de crescimento, e como este padrão é afetado por variáveis que podem ou não ser passíveis de controle, tais como: o espaçamento de plantio, a adubação e a textura do solo, respectivamente. Desde a década de 1980, estudos vêm sendo realizados em diversas localidades, principalmente na região Amazônica (Carpanezzi et al., 1983; Tomaselli et al., 1983; Venturieri et al., 1999; Narducci et al., 2016; Silva et al., 2021), mas, também, em outros Estados e regiões, como no Espírito Santo (Rolim; Piotto, 2018), com o objetivo de observar as respostas das árvores de tachi-branco cultivadas em povoamentos puros.

A partir destes estudos, importantes documentos foram elaborados reunindo as principais respostas encontradas sobre o desenvolvimento desta espécie (Souza et al., 2016) e sobre o zoneamento topoclimático de áreas potenciais para plantio na região amazônica (Martorano et al., 2018). A Figura 1 destaca as respostas de algumas variáveis dendrométricas ao longo do tempo, compiladas por Sousa et al. (2016).

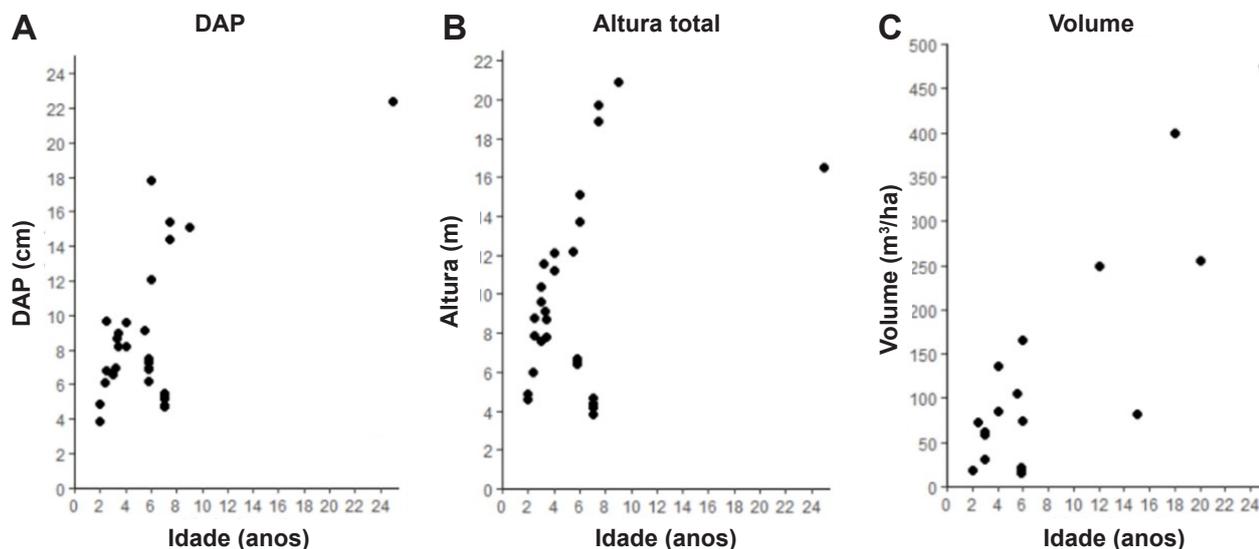


Figura 1. Evolução das variáveis dendrométricas diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) (A), altura total (B) e volume por hectare (C) compilados de vários estudos de plantios puros de *Tachigali vulgaris*.

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2016).

Nota-se a grande variabilidade de respostas, o que é esperado devido à diversidade de ambientes nos quais os experimentos foram estabelecidos e aos diferentes tratamentos silviculturais testados. Compreender estas respostas é imprescindível para que se possa delinear tratamentos ótimos visando não somente a maior produtividade de povoamentos desta espécie em plantios puros, mas o manejo sustentado destes povoamentos, contribuindo com a diversificação da produção florestal no Brasil.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo se concentrou na apresentação de padrões e tendências de variáveis dendrométricas e de plantios experimentais de tachi-branco localizados no norte do Pará. Em especial, focou-se na evolução temporal das variáveis dendrométricas, bem como na influência do espaçamento de plantio e da textura do solo sobre elas.

Metodologia

Caracterização da região e descrição dos experimentos

Dados provenientes de dois plantios experimentais de *T. vulgaris* foram analisados: um experimento de espaçamentos de plantio e um de adubação. Estes experimentos foram instalados no ano de 2010, no Distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, no norte do Pará, por meio da parceria

celebrada entre a Empresa Jari Celulose e a Embrapa Amazônia Oriental, no âmbito do Projeto Florestas Energéticas.

O clima da região é classificado como Am, segundo classificação de Köppen, com características intermediárias entre Af e Aw. O regime pluviométrico se caracteriza por uma curta estação seca nos meses de agosto a dezembro e uma estação chuvosa dos meses de janeiro a julho. A precipitação pluviométrica média anual varia de 1.970-2.300 mm. A temperatura média anual apresenta variação de 22,4 °C a 27,2 °C e a umidade relativa média anual é 54% (Demolinari et al., 2007; Castro et al., 2018). Para a produção das mudas foi utilizada uma miscelânea de sementes coletadas de árvores matrizes oriundas de floresta nativa dos municípios de Santarém, Belterra e Almeirim, no estado do Pará e do município de Macapá, estado do Amapá.

Um dos plantios experimentais, conforme já comentado, consiste em um experimento de espaçamentos. Este experimento foi implantado em um delineamento em blocos casualizados com três blocos completos e uma repetição por bloco. Os tratamentos testados foram os seguintes espaçamentos de plantio: 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m. As unidades experimentais de todos os tratamentos foram instaladas com área de 3.060 m² (51 m x 60 m), totalizando uma área experimental de, aproximadamente, 5,6 ha. Dentro das parcelas, independente do espaçamento de plantio, apenas as 49 plantas centrais constituíram a área útil da parcela, sendo o restante considerado bordadura.

Os experimentos de adubação foram desenvolvidos em duas áreas com distintas classes de textura do solo. Uma das áreas experimentais foi instalada sobre Latossolo Amarelo de textura média arenosa e a outra área sobre Latossolo Amarelo de textura argilosa. A distância em linha reta entre elas é, aproximadamente, 22 km. Em ambas as áreas experimentais, o espaçamento de plantio foi 3 m x 2 m, totalizando 1.667 árvores ha⁻¹. Foram testadas as seguintes doses de fósforo e potássio: 0 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 160 kg ha⁻¹ e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ e 199 kg ha⁻¹ de K₂O. A fonte de fósforo foi o superfosfato triplo (41% de P₂O₅), aplicado no fundo da cova durante o plantio. A fonte de potássio foi o cloreto de potássio (58% de K₂O), aplicado 40% aos 20 dias após o plantio e 60% aos 90 dias após o plantio. A dose de 21 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio (21% de N), foi fornecida apenas na ocasião do plantio como dosagem inicial de apoio, dado que o *T. vulgaris* dispõe da fixação biológica deste nutriente (Faria et al., 1984).

Pela combinação das doses de fósforo e potássio, onze tratamentos foram estabelecidos, além do tratamento controle, em que não foram fornecidas as doses de fósforo e potássio (Tabela 1).

Em cada área, os experimentos foram implantados sob delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial, com quatro blocos completos e uma repetição por bloco. As parcelas foram constituídas por quatro linhas com sete plantas cada, totalizando área de 168 m² (12 m x 14 m) por parcela e, aproximadamente, 1,6 ha por área experimental. Cada parcela continha, portanto, 28 plantas, das quais apenas seis árvores centrais foram medidas e o restante considerado bordadura.

Tabela 1. Adubos e dosagens (kg ha⁻¹) testados em um experimento de adubação de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Tratamento	Nitrogênio		Fósforo		Potássio	
	Sulfato de Amônio (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	Superfosfato Triplo (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Cloreto de Potássio (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
0-P + 0-K	100	21	0	0	0	0 0
0-P + 172-K	100	21	172	0	172	100 100
0-P + 343-K	100	21	343	0	343	199 199
195-P + 0-K	100	21	0	80	0	0 0
195-P + 172-K	100	21	172	80	172	100 100
195-P + 343-K	100	21	343	80	343	199 199
390-P + 0-K	100	21	0	160	0	0 0
390-P + 172-K	100	21	172	160	172	100 100
390-P + 343-K	100	21	343	160	343	199 199
780-P + 0-K	100	21	0	320	0	0 0
780-P + 172-K	100	21	172	320	172	100 100
780-P + 343-K	100	21	343	320	343	199 199

Medições e cômputo das variáveis analisadas

Medições anuais foram realizadas quando foram mensurados os diâmetros a 1,30 m do solo (DAP, em cm) e a altura total (ht, em m) de todas as plantas da área útil das parcelas. O volume comercial de madeira do tronco com casca por fuste (v , em m³) foi estimado por $v = 0,0002316049 \times \text{DAP}^2 + 0,00002392042 \times \text{DAP}^2 \text{ht} + 0,0005481849 \times \text{ht}^2$ ($R^2_{\text{ajust}} = 0,93$ e $S_{yx} = 11,93\%$) (Ramos et al., 2021). A produção, em volume por área (V ; m³ ha⁻¹) bem como em área basal (G ; m² ha⁻¹) foram computadas pela soma dos valores dos volumes e áreas seccionais, respectivamente, das árvores dentro de cada parcela multiplicados pelo fator $10.000/A$, em que A é a área útil da parcela, para extrapolação para 1 ha. Além das variáveis DAP, ht, v , V e G , as variáveis sobrevivência de árvores (S_{arv} , %), densidade de árvores (Dens_a , árvores ha⁻¹), densidade de fustes (Dens_f , fustes ha⁻¹) e a quantidade de fustes por árvore ($N_{\text{fustes/arv}}$) foram obtidas.

Análises estatísticas

Para a análise da evolução temporal das variáveis descritas anteriormente, linhas de tendências suavizadas para a média destas variáveis foram traçadas pela função *geom_smooth*, método “lo-ess” (ajuste de regressão polinomial localizada), do pacote *Ggplot2* (Wickham, 2016) no programa R (R Core Team, 2022). Para o experimento de espaçamentos de plantios, uma linha foi traçada

representando a evolução das variáveis para cada espaçamento. No experimento de adubação, as tendências para cada área experimental (classe de textura do solo) foram traçadas, não sendo o propósito realizar a análise por tratamento de adubação.

Além da construção destas curvas de tendência suavizadas, possíveis diferenças estatísticas entre variáveis foram avaliadas entre os grupos de interesse na última idade de medição. Para o experimento de espaçamentos, realizou-se o teste de agrupamento de Scott-Knott, com 5% de significância, para identificar possíveis diferenças estatísticas das médias das variáveis entre os diferentes espaçamentos de plantio na idade próxima de onze anos (10,8 anos). Para o experimento de adubação, realizou-se o teste t-pareado, com 1% de significância, para identificar possíveis diferenças estatísticas na idade próxima de dez anos (9,6 anos) das médias das variáveis entre a área experimental instalada sobre solo com textura arenosa e àquela instalada sobre solo com textura argilosa. Para o experimento de adubação, como houve um intervalo considerável entre as últimas medições das duas áreas experimentais, i.e. 9,6 anos na área sobre o solo argiloso e 10,2 anos na área sobre solo arenoso, fez-se a interpolação linear entre as duas últimas medições da área sobre solo arenoso, idades de 9,1 anos e 10,2 anos, para equiparar os valores das variáveis à idade de 9,6 anos, representando a idade exata da última medição da área sobre solo argiloso. O teste t-pareado foi escolhido por levar em consideração o pareamento entre os tratamentos de adubação entre as duas áreas experimentais. A significância de 1% para este teste foi escolhida para tornar o teste mais conservador, em que estão sendo comparadas médias gerais de duas áreas experimentais, que contém diferentes tratamentos.

Finalmente, para estimar a idade técnica de corte dos povoamentos e avaliar se ela seria afetada pelas características sob análise (espaçamento de plantio e classe de textura do solo), ajustou-se uma forma modificada do modelo de crescimento e produção de Clutter (Clutter, 1963), composto pelas seguintes equações: $\ln(G_2) = \ln G_1(I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1 I_2^{-1}) + \varepsilon$ e $\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 \ln G_2 + \varepsilon$, em que: V_2 é a produção em volume ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) na idade de interesse; I_1 e I_2 são as idades atual e idade de interesse, respectivamente; G_1 e G_2 são as áreas basais atual e na idade de interesse, respectivamente. A modificação no modelo original de Clutter consistiu apenas na exclusão do termo referente ao sítio em ambas as equações de produção em volume e área basal, uma vez que se trata de experimentos que ocupam áreas relativamente pequenas, sendo pouco provável a constatação de ampla variabilidade de qualidade de sítios.

O ajuste do modelo modificado de Clutter foi realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados em dois estágios (Campos; Leite, 2017). No experimento de espaçamentos de plantio, o ajuste foi realizado para toda a base de dados. No experimento de adubação, o ajuste foi feito para classe de textura do solo. Para reportar a qualidade das estimativas, calculou-se a raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM) e o coeficiente de determinação (R^2) (Campos; Leite, 2017). Os coeficientes das equações foram testados pelo teste t a 5% de significância. Com os modelos ajustados, os pontos de maior incremento médio anual (IMA) foram determinados. Em ambos os experimentos, as produções futuras foram estimadas a partir das médias das áreas basais da primeira medição, em que no experimento de espaçamentos, foi utilizada a média das áreas basais de cada espaçamento e no experimento de adubação utilizou-se a média das áreas basais de cada classe de textura de solo. Com a prognose feita com base nestas áreas basais iniciais, obteve-se a razão entre o volume estimado e a respectiva idade de prognose, ou seja, o IMA, essencial na determinação da idade técnica de corte (ITC) identificada como o ponto de maior IMA.

Resultados e discussão

Experimento de espaçamentos de plantio

Na idade de onze anos, a maior parte das variáveis analisadas não apresentou diferença estatística entre os espaçamentos de plantio (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de variáveis dendrométricas em um experimento de espaçamentos de *Tachigali vulgaris* com idade próxima de onze anos, no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Esp (m)	DAP (cm)	ht (m)	v (m ³)	Dens _{arv} (árvores ha ⁻¹)	Dens _f (fustes ha ⁻¹)	S _{arv} (%)	N _{fustes/arv} (fustes ha ⁻¹)
3,0 x 1,5	15,4 a	21,1 a	0,2130 a	1.058 a	1.300 a	47,6 b	1,24 b
3,0 x 2,0	15,2 a	21,4 a	0,2071 a	850 b	1.134 a	51,0 b	1,33 b
3,0 x 2,5	15,7 a	21,6 a	0,2178 a	726 c	980 a	51,0 b	1,46 a
3,0 x 3,0	15,8 a	21,1 a	0,2157 a	680 c	1.111 a	65,3 a	1,53 a
3,0 x 3,5	15,6 a	21,3 a	0,2071 a	673 c	1.056 a	70,7 a	1,57 a
3,0 x 4,0	16,9 a	22,4 a	0,2567 a	595 c	1.014 a	71,4 a	1,70 a

Legenda: Esp = espaçamento inicial de plantio (m); DAP = diâmetro do fuste a 1,3 m do solo; ht = altura total do fuste; v = volume de madeira do fuste com casca, Dens_{arv} = densidade de árvores, Dens_f = densidade de fustes, S_{arv} = sobrevivência das árvores, N_{fustes/arv} = número de fustes por árvore. Letras iguais na coluna indicam diferença não significativa pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

No geral, o DAP dos fustes variou de 6,4-30,8 cm (Figura 2A). As médias de DAP dos espaçamentos de plantio variaram de 15,2-16,9 cm, não havendo diferença significativa nesta idade (Tabela 2). A altura dos fustes variou de 11,8- 26,8 m, próxima aos onze anos (Figura 2B), com as médias dos tratamentos de 21,1-22,4 m, também sem diferença estatisticamente significativa (Tabela 2). O volume de madeira com casca por fuste variou de 0,0086-0,8398 m³, próximo aos onze anos (Figura 2C), com médias por tratamento variando de 0,2071-0,2567 m³, sem diferença significativa (Tabela 2).

Como era esperado devido à densidade inicial de plantio, quanto menor o espaçamento, maior foi a densidade de árvores próxima aos onze anos (Figura 1D). Houve a formação de três grupos de médias estatisticamente diferentes (Tabela 2). O menor espaçamento, 3,0 m x 1,5 m, apresentou a maior média de 1.058 árvores ha⁻¹, seguido pelo espaçamento 3,0 m x 2,0 m com média de 850 árvores ha⁻¹ e, finalmente, o conjunto dos outros quatro espaçamentos com médias de 726 árvores ha⁻¹, 680 árvores ha⁻¹, 673 árvores ha⁻¹ e 595 árvores ha⁻¹, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Por outro lado, a densidade de fustes aos onze anos variou de 979-1.300 fustes ha⁻¹ (Figura 2E) sem diferença significativa (Tabela 2).

Em relação à sobrevivência de árvores, houve uma tendência de maior sobrevivência quanto mais amplo o espaçamento (Figura 2F) de forma que dois grupos de médias foram formados próximo aos onze anos de idade: os menores espaçamentos 3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 2,5 m com sobrevivência média de 47,6%, 51% e 51%, respectivamente, enquanto o outro grupo foi formado pelos três maiores espaçamentos, com sobrevivências médias de 65,3%, 70,7% e 71,4%, respectivamente aos espaçamentos 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m (Tabela 2).

A análise da quantidade de fustes por árvore revelou a tendência de que nos maiores espaçamentos ocorrerem árvores com mais fustes (Figura 2G). A quantidade de fustes por árvore variou de 1 a 5. Comparando-se os espaçamentos extremos, a diferença foi de 37% de fustes a mais no maior espaçamento.

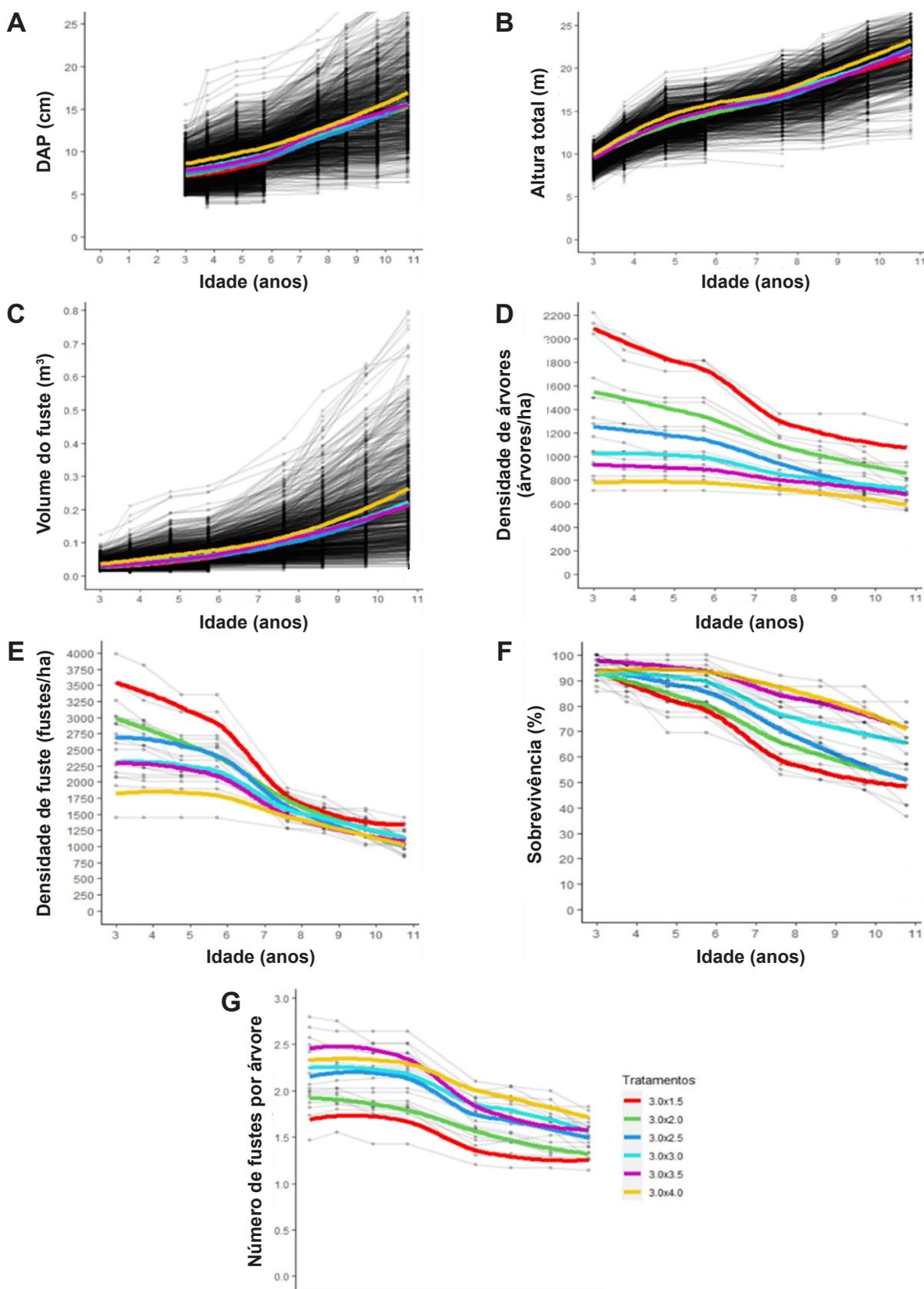


Figura 2. Tendência média das variáveis diâmetro a altura de 1,3 m do solo (DAP, A), altura total (B), volume de madeira do fuste com casca (C), densidade de árvores (D), densidade de fuste (E), sobrevivência de árvores (F) e quantidade de fustes por árvore (G) em um experimento de espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas coloridas referem-se às tendências médias. Os círculos conectados por linhas cinzas se referem aos valores observados.

As médias por espaçamento ficaram agrupadas da seguinte forma: os espaçamentos 3,0 m x 1,5 m e 3,0 m x 2,0 m promoveram médias de 1,24 e 1,33 fustes árvore⁻¹, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Os espaçamentos 3,0 m x 2,5 m, 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m compuseram o segundo grupo com médias não diferentes estatisticamente, com valores de 1,46 fustes árvore⁻¹, 1,53 fustes árvore⁻¹, 1,57 fustes árvore⁻¹ e 1,70 fustes árvore⁻¹, respectivamente (Tabela 2).

É de se esperar que quanto maior o espaçamento maior será o diâmetro e o volume médios dos fustes (Leite et al., 2006; Lima et al., 2013; Pacheco et al., 2015). Em relação à influência do espaçamento na altura média das árvores, diferentes padrões de respostas são reportados na literatura, desde maior altura quanto menor o espaçamento (Inoue et al., 2011) à nenhuma relação entre a altura média das árvores e o espaçamento (Leite et al., 2006; Pacheco et al., 2015), como observado neste estudo.

Um fator importante a ser levado em consideração, ao se estudar a tendência destas variáveis ao longo do tempo, é a mortalidade. Adicionalmente, no caso do tachi-branco, há de se atentar também à característica de frequente bifurcação das árvores quando cultivadas em monocultivo. Assim, a não detecção de diferença significativa entre os espaçamentos de plantio pode ter-se dado devido à maior mortalidade nos menores espaçamentos e à tendência de perfilhamento nos espaçamentos maiores. Muito embora tenha ocorrido diferença significativa para a densidade de árvores entre os espaçamentos, em acordo com as densidades de plantio, a mortalidade de árvores (Figura 2F) e a tendência de perfilhamento nos maiores espaçamentos (Figura 2G), igualaram estatisticamente a densidades de fuste próximo aos onze anos de idade.

O ajuste do modelo de Clutter modificado para os dados provenientes do experimento de espaçamentos resultou no seguinte sistema, com todos os parâmetros significativos a 5% de significância pelo teste t (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros e estatísticas de qualidade de ajuste para o modelo de Clutter modificado ajustado a dados provenientes de um experimento de espaçamentos de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Equação	Parâmetros estimados			Estatística de qualidade	
	β_0	α_1 ou β_1	β_2	RQEM (%)	R ²
Volume (V_2)	1,785732*	-1,659670*	1,222631*	7,91	0,92
Área basal (G_2)	-	3,358553*	-	5,86	0,95

Legenda: V_2 = volume estimado na idade de interesse (m³ ha⁻¹); G_2 = área basal estimada na idade de interesse (m² ha⁻¹); β_0 , β_1 , β_2 e α_1 = parâmetros estimados, RQEM (%) = raiz quadrada do erro quadrático médio, R² = coeficiente de determinação.

As prognoses realizadas a partir da média das áreas basais iniciais dos espaçamentos revelaram a tendência de menor idade técnica de corte (com base na máxima produção média em volume) nos menores espaçamentos iniciais de plantio (Figura 3).

Os máximos valores de IMA prognosticados variaram de 26,5-29,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente ao segundo maior e o menor espaçamento, nas idades próximas de 5 anos e 4,5 anos (Figura 3). A maior produtividade do segundo maior espaçamento (3,0 m x 3,5 m) ao invés do primeiro (3,0 m x 4,0 m) ocorreu devido ao fato da média da área basal do segundo maior espaçamento (11,48 m² ha⁻¹) ter sido ligeiramente superior ao outro (11,12 m² ha⁻¹). Esta diferença pode ter surgido de variação aleatória dada à pequena diferença entre os espaçamentos avaliados.

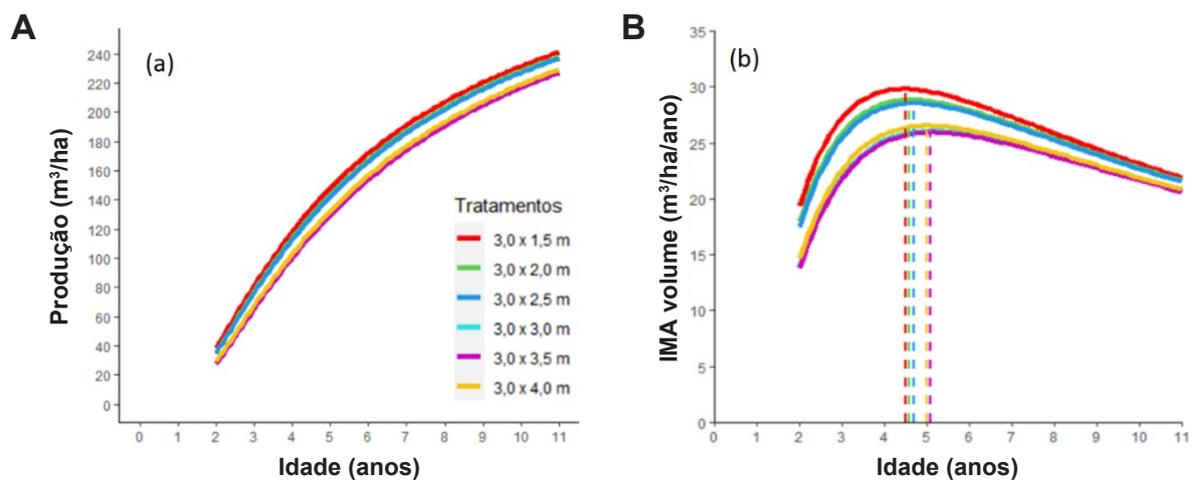


Figura 3. Curvas de produção (A) e de incremento médio anual em volume (B) estimadas para diferentes espaçamentos de plantios de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

A pequena diferença entre as idades técnicas de corte para espaçamentos de plantios tão contrastantes pode ter sido consequência da alta mortalidade nos espaçamentos menores e da maior ocorrência de perfilhamento das árvores nos espaçamentos maiores, como mencionado anteriormente. É possível que, com aprimoramento de tratamentos silviculturais, melhoramento genético e com o desenvolvimento e seleção de cultivares mais adaptadas, aliado ao entendimento e controle do fenômeno do perfilhamento nesta espécie, diferenças mais contrastantes de produtividade e de idade técnica de corte possam ser encontradas.

Experimentos de adubação

Na idade próxima a dez anos, os diâmetros dos fustes variaram de 5,2-28,3 cm para o solo arenoso e de 5,4-31,8 cm para o solo argiloso, cujas médias variaram de 13,9-14,5 cm respectivamente, valores estes não diferentes estatisticamente (p -valor = 0,21). Apesar disso, as curvas suavizadas apontam para uma tendência de aumento da diferença média entre os diâmetros médios a partir da idade de oito anos (Figura 4A). As alturas variaram de 9,8-23,5 m para o solo arenoso e de 11,0-26,5 m para o solo argiloso. As médias das alturas, aos 9,6 anos de idade, variaram de 18,3-18,9 m (Figura 4B), cuja diferença não foi estatisticamente significativa (p -valor = 0,03). O volume médio por fuste variou de 0,0179-0,6460 m³ e de 0,0210-0,8897 m³ para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, cujos valores médios variaram de 0,1710-0,1870 m³ (Figura 4c), sem diferença significativa (p -valor = 0,20).

A densidade de árvores variou de 556-1.667 árvores ha⁻¹ para o solo arenoso e a 278 árvores ha⁻¹ para o solo argiloso, com valores médios significativamente diferentes entre si de 1.072 árvores ha⁻¹ e 856 árvores ha⁻¹ (p -valor = 0,006), respectivamente (Figura 4D). A densidade de fustes variou de 3.056 fustes ha⁻¹, para ambas as texturas de solo, a 556 fustes ha⁻¹ para o solo de textura arenosa e a 278 fustes ha⁻¹ para o solo de textura argilosa. Seus valores médios variaram, respectivamente, de 1.535,3-1.464,1 fustes ha⁻¹ (Figura 4E), sem diferença significativa (p -valor = 0,60). Em concordância com a densidade de árvores, a sobrevivência variou de 100% a 33,3% (duas árvores sobreviventes) para o solo arenoso e 16,7% (uma árvore sobrevivente) para o solo argiloso, com médias significativamente diferentes entre si de 64% e 51% (p -valor = 0,006) (Figura 4F). A quantidade de fustes por árvore variou de 1-4 para o solo arenoso e de 1-5 para o solo argiloso, com médias de 1,37-1,76 fustes por árvore, diferenciando estatisticamente (p -valor = 0,004) (Figura 3G). Esse resultado indica maior ocorrência de bifurcação das árvores de *T. vulgaris* quando plantadas em

solo de textura argilosa comparativamente ao solo de textura arenosa, sendo mantidos os demais parâmetros experimentais.

Estes resultados, especialmente da dinâmica da sobrevivência, densidade de árvores e fustes e do número de fustes por árvores, sugerem que a textura de solo exerceu alguma influência sobre o desenvolvimento dos plantios. As tendências da densidade e sobrevivência de árvores indicam maior sobrevivência em todo o período analisado na área sobre solo arenoso. Contudo, a inclinação das duas linhas de tendência (Figura 4D e 4F) sugerem que o avanço da mortalidade ao longo do tempo foi semelhante para as duas áreas. Isso contrasta com a tendência da densidade de fustes (Figura 4E), a qual indica um breve aumento da densidade de fuste até a idade de quatro anos, período em que o surgimento de novos fustes superou a mortalidade de fustes, com posterior tendência descendente, sendo ligeiramente mais inclinada para a área sobre solo argiloso, indicando mortalidade de fustes mais intensa nesta até que, aos 9,6 anos, não houvesse mais diferença entre a densidade de fustes das duas áreas.

Outro indicativo do efeito da textura do solo no desenvolvimento das árvores é o fato das árvores de tachi-branco plantadas sobre solo argiloso tenderem a ter mais fustes que àquelas em solos arenosos (Figura 4G). Como observado no experimento de espaçamentos, quanto maior o espaçamento, mais fustes as árvores de tachi-branco tenderam a emitir (Figura 2G). Se este é um comportamento geral da espécie, logo, é possível que a maior quantidade de fustes por árvores na área sobre solo argiloso tenha emergido da maior mortalidade de árvores e fustes nesta área. No entanto, sugere-se que sejam realizadas investigações para elucidar o efeito da textura do solo sobre o crescimento e desenvolvimento das árvores de tachi-branco.

Os ajustes do modelo de Clutter modificado para os dados provenientes dos testes de adubação resultaram nos seguintes sistemas, com todos os parâmetros significativos a 5 % de significância pelo teste t (Tabela 4).

As prognoses feitas, partindo-se da média das áreas basais iniciais de cada área experimental aos dois anos ($4,93 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $6,17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para as texturas arenosa e argilosa respectivamente), revelaram produtividade ligeiramente maior para o solo de textura argilosa (Figura 5A). Os valores máximos de IMA prognosticados variaram de $24,29$ - $25,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e se situaram na mesma idade, de aproximadamente 5,8 anos (Figura 5B). Um fator que pode ter contribuído à ligeira superioridade da produtividade obtida no solo argiloso é a densidade de fustes por árvore, a qual se apresentou superior desde as primeiras medições, promovendo o aumento dos valores de área basal inicial nesta textura de solo (25,2% superior) e, conseqüentemente, nas estimativas de produção.

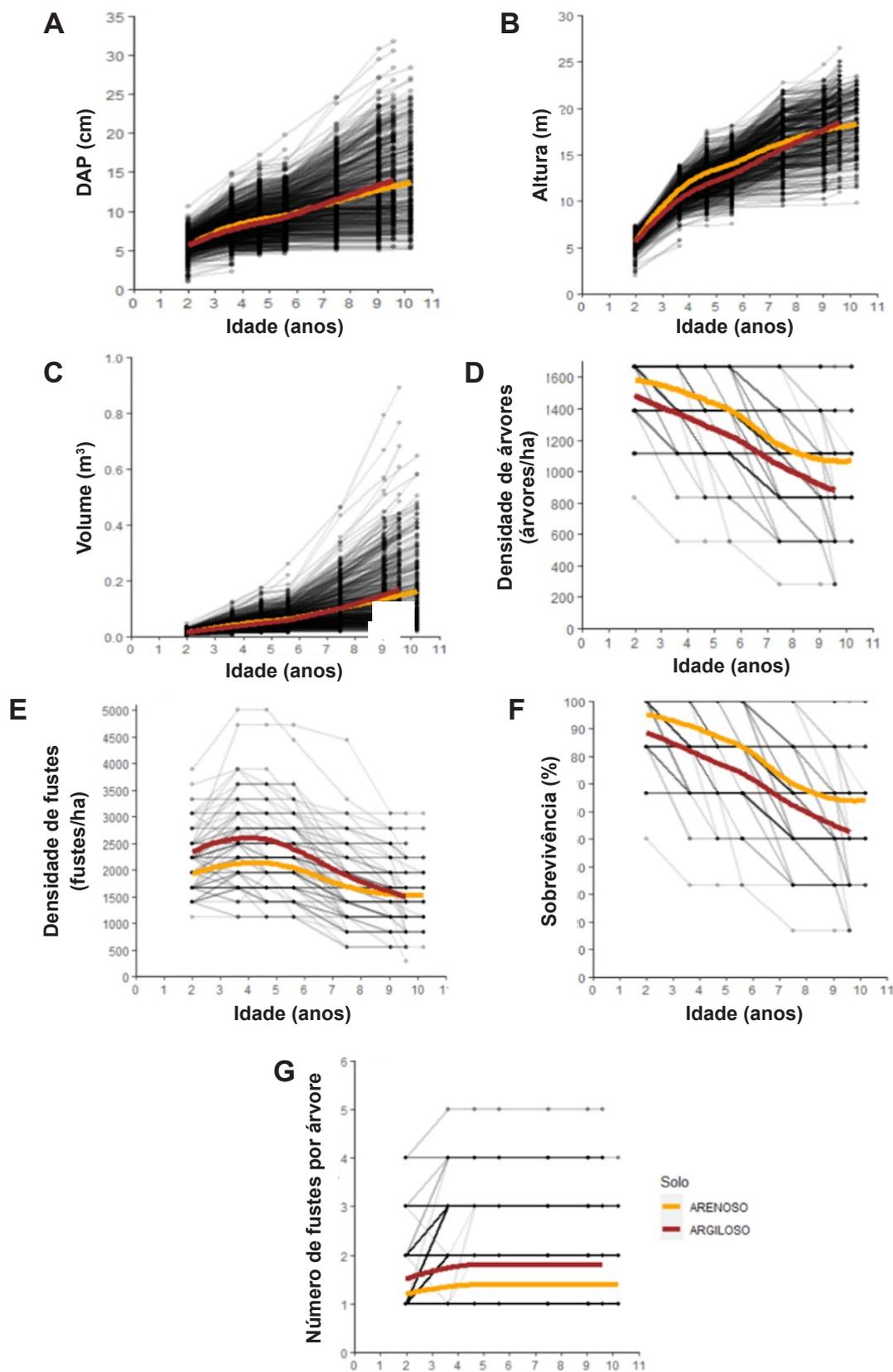


Figura 4. Tendência das variáveis diâmetro à altura de 1,3 m do solo (DAP, A), altura total (B), volume de madeira do fuste com casca (C), densidade de árvores (D), densidade de fuste (E), sobrevivência de árvores (F) e quantidade de fustes por árvore (G) do experimento de adubação de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas coloridas se referem às tendências médias de cada classe de textura de solo. Os círculos conectados por linhas cinzas se referem aos valores observados.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros e estatísticas de qualidade de ajuste para o modelo de Clutter modificado ajustado a dados proveniente de um teste de adubação de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Equação	Parâmetros estimados			Estatísticas de qualidade	
	β_0	α_1 ou β_1	β_2	RQEM (%)	R ²
Textura arenosa					
Volume (V_2)	2,266444	-1,787737	1,060367	17,49	0,90
Área basal (G_2)	-	3,46518	-	14,83	0,88
Textura argilosa					
Volume (V_2)	2.334818	-2,284758	1,051166	20,29	0,86
Área basal (G_2)	-	3,482054	-	16,52	0,84

Legenda: V_2 = volume estimado na idade de interesse ($m^3 ha^{-1}$); G_2 = área basal estimada na idade de interesse ($m^2 ha^{-1}$); β_0 , β_1 , β_2 e α_1 = parâmetros estimados, RQEM (%) = raiz quadrada do erro quadrático médio, R² = coeficiente de determinação.

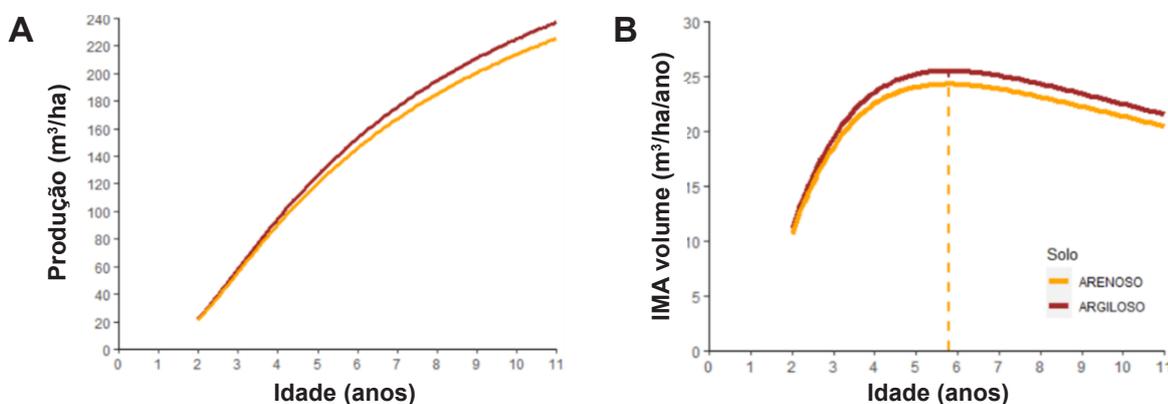


Figura 5. Incremento médio anual em volume (IMA) estimado para dois experimentos de adubação de plantios de *Tachigali vulgaris* em duas classes de textura de solo no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas pontilhadas se referem ao ponto de máximo incremento médio anual, indicativo da idade técnica de corte visando à máxima produtividade em volume.

Considerações finais

Os resultados experimentais comprovam a forte aptidão da espécie tachi-branco (*T. vulgaris*) para plantios puros com produtividade volumétrica que pode ser considerada alta, sobretudo para uma espécie que ainda não passou por avanço de gerações de melhoramento genético.

Os resultados do experimento de espaçamentos indicaram produções muito próximas entre os espaçamentos avaliados ao final de um período próximo de onze anos, resultados prováveis em função da alta mortalidade observada. Com o desenvolvimento de prescrições silviculturais ótimas e com o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas, é possível que possam ser obtidas respostas mais contrastantes em futuros experimentos de espaçamentos. Sugere-se, ainda, a replicação de experimentos similares em outras localidades e com características edafoclimáticas contrastantes para se elucidar o efeito do espaçamento na dinâmica do crescimento de plantios de tachi-branco bem como para a prescrição local de espaçamentos ótimos.

Finalmente, sugere-se que novas pesquisas busquem explorar o efeito da textura de solo e ocorrência de bifurcação em aspectos ecofisiológicos do desenvolvimento das árvores de tachi-branco a fim de elucidar as evidências das respostas aqui apresentadas.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo nº 306793/2019-9), Embrapa Amazônia Oriental e Grupo Jari pelo financiamento da pesquisa.

Às discentes do Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da UFU, Câmpus de Monte Carmelo, Larissa de Oliveira Ramos e Ana Carolina de Fátima Cardoso Nunes, que desenvolveram seus projetos de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso no âmbito da “Rede de Pesquisa Tachi-Branco”, período de 2018 a 2020 e, dessa forma, contribuíram diretamente para a compreensão dos parâmetros de crescimento e produção de *T. vulgaris*.

Referências

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Editora UFV. 2017. 636 p.
- CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de tachi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*)**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1983. 8 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CARVALHO, P. E. R. **Tachi-branco**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41472/1/circ-tec111.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CASTRO, C. E. C.; SILVA, P. H. M.; ARAÚJO, M. J.; MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; PAULA, R. C. Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de progênies de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 157-166, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n118.02>.
- COUTINHO, C. H. O. **Enriquecimento de capoeira**: recuperação de áreas alteradas e fonte alternativa de renda para agricultores familiares da Amazônia Oriental brasileira. 2008. Monografia (Especialização em Meio Ambiente) - Universidade Federal do Pará, Belém.
- CLUTTER, J. L. Compatible growth, and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/9.3.354>.
- DEMOLINARI, R. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 503-512, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000300016>.
- DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém. **Anais...** Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical: USDA-Serviço Florestal; Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIA, S. M.; FRANCO, A. A.; JESUS, R. M.; MENANDRO, M. S.; BAITELLO, J. B.; MUCCI, E. S. F.; DOBEREINER, J.; SPRENT, J. I. New nodulating legume trees from south-east Brazil. **New Phytologist**, v. 98, n. 2, p. 317-328, 1984. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2485159>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L. D. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JÚNIOR, B. H. 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**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr91/cap10.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400013>.
- LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.001>.
- MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-OnLine.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S. Growth and survival of *Sclerolobium paniculatum* Vogel and the relationship between rainfall and the increment in diameter at different planting spacings. **Revista Árvore**, v. 40, p. 447-454, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300008>.
- ORELLANA, B. B. M. A. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá**. 2015, 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.
- PACHECO, J. M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; MACHADO, S. A.; LIMA, R. Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 353-365, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap11.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 out. 2022.
- RAMOS, L. O.; MIRANDA, R. O. V.; SOARES, A. A. V.; PROTÁSIO, T. P. de; GONÇALVES, D. A. de. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/RF.V51I4.75138>.
- ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silvicultura e tecnologia de espécies nativas da Mata Atlântica**. Belo Horizonte: Editora Rona, 2018. 160 p.
- SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONÇALVES, D. A. de.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. de. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 211-224, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01068-8>.
- SOUSA, V. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H.C. Lima): botânica, ecologia e silvicultura**. Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 426) Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154191/1/DOCUMENTOS-426-Ainfo.pdf>.
- TOMASELLI, I. MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6/7, p. 33-44, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaseLLi.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981702>.
- VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JUNIOR, S.; NEVES, C. de B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel) Leg: Caesalpinioideae. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém, PA. Resumos expandidos. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. Acesso em: 20 out. 2022.
- WICKHAM, H. **ggplot2: elegant graphics for data analysis**. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, 2016. 276 p.