

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

LARISSA DE OLIVEIRA RAMOS

**VOLUMETRIA EM POVOAMENTOS PUROS DE TACHI-BRANCO (*Tachigali vulgaris*)
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

**MONTE CARMELO
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

LARISSA DE OLIVEIRA RAMOS

**VOLUMETRIA EM POVOAMENTOS PUROS DE TACHI-BRANCO (*Tachigali vulgaris*)
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

**MONTE CARMELO
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

LARISSA DE OLIVEIRA RAMOS

**VOLUMETRIA EM POVOAMENTOS PUROS DE TACHI-BRANCO (*Tachigali vulgaris*)
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

Monte Carmelo, ____ de _____ de 20____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Orientador

Prof. Dr. Alvaro Augusto Vieira Soares
Membro da Banca

Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa
Membro da Banca

**MONTE CARMELO
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, por iluminar meu caminho e me abençoar durante esse ciclo.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Luciane e Sebastião, aos meus irmãos Eduardo e Angelina, que entenderam as minhas ausências e não mediram esforços para que o meu sonho de me tornar Engenheira Florestal se tornasse realidade, sempre com muito amor, carinho e fé.

Agradeço ao meu namorado, Cássio, que mesmo chegando ao final dessa trajetória, fez uma enorme diferença, me dando confiança e força para seguir em frente, dia após dia, e por ter sido tão parceiro e paciente o tempo todo.

Agradeço aos meus amigos, aos antigos e aos novos que a universidade me deu, por compartilharem momentos incríveis comigo e por me ensinarem tanto.

Agradeço ao professor Rodrigo, que aceitou ser meu orientador e que desempenhou muito bem esse papel, sempre me auxiliando com muita paciência e dedicação.

Agradeço aos professores pelos ensinamentos, em especial, aos professores Alvaro e Emanuel, que aceitaram o convite de compor a banca, e pelas expressivas contribuições para a melhoria do trabalho.

Agradeço ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Delman de Almeida Gonçalves, e ao Professor Thiago de Paula Protásio, pelas contribuições no desenvolvimento do trabalho e por intermediarem a disponibilização do banco de dados.

Agradeço à empresa Jari Celulose S/A por todo apoio prestado ao desenvolvimento desta pesquisa e pela disponibilização do banco de dados.

Finalmente, sou grata a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.”

(Winston Churchill)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do plantio experimental de <i>Tachigali vulgaris</i> no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim – PA. Elaboração: Wilson Alan S. do Rosário.	14
Figura 2. Croqui da área do plantio experimental de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	15
Figura 3. Dispersão residual para os modelos testados para a situação 1, na estimativa do volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	21
Figura 4. Dispersão residual para os modelos testados para a situação 2, na estimativa do volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	24
Figura 5. Dispersão residual para o modelo de Schumacher e Hall por espaçamento para a situação 1, na estimativa do volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	27
Figura 6. Dispersão residual para o modelo de Schumacher e Hall por espaçamento para a situação 2, na estimativa do volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	28
Figura 7. Comportamento das estimativas volumétricas geradas pela equação selecionada, sob variações de classes de altura e diâmetro equivalente, para árvores de plantios experimentais de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	30
Figura 8. Dispersão dos valores observados e estimados (a) e dispersão residual (b) para o modelo proposto para d_{eq} para árvores de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	31
Figura 9. Diferença percentual média e desvio padrão nas estimativas de volume por unidade de área obtidos por d_{eq} observado e estimado, por tratamento (a) e idade (b), para plantios de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos testados para estimar o volume individual das árvores de povoamentos puros de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.....	16
Tabela 2. Análise de variância para o teste de identidade em plantios experimentais de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.....	18
Tabela 3. Distribuição em classes de diâmetro e altura das árvores e fustes selecionados para cubagem de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará	20
Tabela 4. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 1(uso do d) a fim de estimar o volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará	20
Tabela 5. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 2 (uso do d_{eq}) a fim de estimar o volume de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.....	22
Tabela 6. Coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher e Hall para ambas situações testadas, a fim de estimar o volume de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará	26
Tabela 7. Teste de identidade de modelos para a situação 2 (uso do d_{eq}), com as seis combinações de espaçamentos em plantios experimentais de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.....	29
Tabela 8. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 1(uso do d) a fim de estimar o volume comercial de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará	38
Tabela 9. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 2 (uso do d_{eq}) a fim de estimar o volume de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará.....	38
Tabela 10. Coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher e Hall para ambas situações testadas, a fim de estimar o volume de <i>Tachigali vulgaris</i> no norte do Pará	38

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

d	diâmetro à altura do peito (cm);
DBC	delineamento em blocos casualizados;
d_{eq}	diâmetro equivalente (cm);
d_{max}	diâmetro à altura do peito máximo (cm);
d_{min}	diâmetro à altura do peito mínimo (cm);
IM	fator de discrepância logarítmica de Meyer;
h	altura total da árvore (m);
Ln	logaritmo neperiano;
R^2_{ajust}	coeficiente de determinação ajustado;
Res%	resíduos em porcentagem;
$S_{yx}\%$	erro padrão da estimativa relativo;
TIM	teste de identidade de modelos;
SQRes	soma de quadrados dos resíduos;
SQTotal	soma de quadrados total;
n	número de observações;
p	número de parâmetros do modelo;
$\overline{Vc\ cc}$	média dos valores observados para volume comercial com casca;
V_{obs}	valores observados de volume;
V_{est}	valores estimados de volume.

RESUMO

Dentre as espécies nativas brasileiras com potencial comercial, o tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima) possui posição de destaque. Essa espécie é uma leguminosa arbórea de rápido crescimento, com potencial de uso para fins energéticos, recuperação de áreas degradadas, arborização de parques e rodovias, usos nobres e material componente no cimento utilizado no ramo da construção civil. Mesmo com características conhecidas, estudos sobre essa espécie são incipientes, necessitando de maior aprofundamento sobre sua ecologia, silvicultura e manejo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver equações volumétricas para plantios puros de tachi-branco, avaliando o efeito do espaçamento inicial de plantio nas estimativas de volume. Os dados utilizados são provenientes de um experimento de tachi-branco, implantado no ano de 2010, no norte do estado do Pará. O experimento foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados, sendo três blocos, cada um com seis tratamentos, T1 (3,0 × 1,5 m); T2 (3,0 × 2,0 m); T3 (3,0 × 2,5 m); T4 (3,0 × 3,0 m); T5 (3,0 × 3,5 m); e T6 (3,0 × 4,0 m). Três árvores por tratamento em cada bloco e em duas idades foram cubadas de maneira absoluta, totalizando 108 árvores. Modelos volumétricos mais comumente utilizados foram avaliados, para duas situações distintas: considerando cada fuste como uma árvore e utilizando o diâmetro equivalente da árvore como variáveis independentes no modelo volumétrico. Além disso, uma equação para estimativa do diâmetro equivalente foi proposta. De acordo com os resultados, foi constatado que o diâmetro equivalente promoveu estimativas volumétricas mais precisas em relação ao diâmetro à altura do peito. Além disso, o modelo de Schumacher e Hall foi eficiente para estimativa de volume de *Tachigali vulgaris*, cujo espaçamento de plantio não exerceu influência no desenvolvimento de equações de volume independentes e, deste modo, uma única equação pode ser utilizada. O diâmetro equivalente pode ser estimado via equação, cujas estimativas não influenciaram o volume por unidade de área.

Palavras-chave: Produção volumétrica. Densidade de plantio. Carvoeiro.

ABSTRACT

Among the Brazilian native species with commercial potential, the white tachi (*Tachigali vulgaris* L. Gomes da Silva and H. C. Lima) has a prominent position. This species is a fast-growing tree legume with potential use for energy, recovery of degraded areas, afforestation of parks and highways, use of nobles and component material in cement used in the construction industry. In spite of this known characteristics, studies on this species are incipient, requiring further study on its ecology, silviculture and management. Thus, the objective of this work was to develop volumetric equations for pure white tachi plants, evaluating the effect of initial plant spacing on volume areas. The data used are from a white tachi experiment, implemented in 2010, in the north of the state of Pará. The experiment was conducted under a randomized block design, with three blocks, each with six intervals, T1 (3,0 × 1,5 m); T2 (3,0 × 2,0 m); T3 (3,0 × 2,5 m); T4 (3,0 × 3,0 m); T5 (3,0 × 3,5 m); and T6 (3,0 × 4,0 m). Three trees per treatment in each block and at two ages were absolutely cubed, totaling 108 trees. The most common volumetric models used were used for two different situations: consider each object as a tree and use the equivalent tree diameter as independent variables in the volumetric model. In addition, an equation for estimating the equivalent diameter was proposed. According to the results, it was found that the equivalent diameter promoted more accurate volumetric estimates in relation to the diameter at breast height. In addition, the Schumacher and Hall model was efficient for volume estimation of *Tachigali vulgaris*, whose planting spacing had no influence on the development of independent volume equations and thus a single equation can be used. The equivalent diameter can be estimated via equation, whose estimates did not influence the volume per unit area.

Keywords: Volumetric production. Plant density. Carvoeiro.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 JUSTIFICATIVA	13
3 OBJETIVO	13
3.1 Objetivo geral	13
3.2 Objetivos específicos.....	13
4 METODOLOGIA.....	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
6 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS	34
APÊNDICE	38

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que se destaca pela sua vocação florestal. Atualmente, a estimativa de área plantada no país é de 7,83 milhões de hectares, representada, em sua maioria, por espécies do gênero *Eucalyptus*, seguido pelo gênero *Pinus* (IBÁ, 2019). Embora esses dois gêneros se destaquem no cenário brasileiro, existem outras espécies com potencial de utilização comercial, sendo uma dessas espécies o tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima).

O tachi-branco é uma espécie leguminosa arbórea de ocorrência generalizada nas regiões norte e centro-oeste do país, sobretudo no Pará e Amazonas (PEREIRA, 1990). É uma espécie heliófila, ou seja, possui maior adaptabilidade a pleno sol (YARED, 1990). Nessas condições, seu crescimento é relativamente rápido, com incrementos anuais em diâmetro e altura de 3,4 cm e 2,5 m, respectivamente (CARVALHO, 2005), em que sua árvore adulta pode alcançar de 70 a 100 cm de diâmetro à altura do peito (1,30 cm em relação ao solo) e 20 a 30 m de altura.

Devido a isso, trata-se de uma espécie recomendada para arborização de parques e rodovias (CARVALHO, 2005), para recuperação de áreas degradadas (DIAS et al., 1995) e para ser direcionada para fins energéticos (ORELLANA, 2015). Além disso, estudos recentes têm valorizado seu potencial para usos madeireiros mais nobres (ORELLANA, 2015; FARIA, 2016) e como composto para ser triturado e misturado ao cimento para uso na construção civil (SOUSA et al., 2016).

O uso de espécies arbóreas leguminosas na recuperação de áreas degradadas é vantajoso devido ao baixo custo e grande capacidade adaptativa (GRIFFITH et al., 1996), aliada, essencialmente, às características da espécie a ser utilizada. Assim, o tachi-branco apresenta-se como uma espécie para essa finalidade, uma vez que possui rápido crescimento e devido à formação de nódulos micorrízicos em suas raízes, capazes de retirar nitrogênio gasoso do ar e disponibilizá-lo no solo (LORENZI, 1992).

Conforme Orellana (2015), uma vantagem de se utilizar o tachi-branco para recuperação de solos é que, ao fim do período de pousio, o agricultor poderá obter bons rendimentos econômicos com a venda de sua madeira como lenha ou carvão, além de promover a recuperação da área para novos cultivos. Além do rápido crescimento, como mencionado, essa espécie possui elevada produção e desrama de folhas, o que possibilita rápida formação de "litter", o que também contribui na recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA JÚNIOR, 1997).

Desde alguns anos, o tachi-branco tem sido recomendado para carvoaria, origem de seu nome popular "carvoeiro" (ROLIM; PIOTTO, 2018). Essa espécie possui características semelhantes à

madeira de eucalipto em relação ao poder calorífico e ao rendimento de peso e volume no processo de carbonização (MOCHIUTTI et al., 1999). No trabalho de Silva (2018) estão apresentadas propriedades da madeira e do carvão de tachi-branco, onde são ressaltadas as qualidades da madeira dessa espécie. Vale et al. (1996) e Terra (2017) observaram que o tachi-branco apresentou maiores rendimentos gravimétricos em carvão vegetal e em carbono fixo em relação ao *Eucalyptus grandis*, elucidando o potencial energético da espécie.

O tachi-branco tem sido foco em estudos há mais de 30 anos na região amazônica (LIMA, 2004). Tem apresentado comportamento silvicultural promissor em plantios experimentais, fato reforçado pelas suas características de pioneirismo, aparecendo em ampla faixa de condições climáticas e edáficas (CARPANEZZI et al., 1983). Embora tenha apresentado resultados promissores, plantios comerciais com tachi-branco ainda são incipientes. Desta forma, torna-se necessário o acompanhamento da dinâmica desses plantios, a fim de possibilitar estudos sobre seu manejo e produção.

A principal variável em levantamentos florestais normalmente é o volume (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). O volume é uma das variáveis de maior importância para o conhecimento do potencial madeireiro de povoamentos florestais (OLIVEIRA et al., 2011). Conforme Machado et al. (2000), o potencial madeireiro de uma floresta pode ser determinado por meio do inventário florestal, pelo uso de uma tabela ou equação de volume do povoamento, ou por meio da distribuição diamétrica empregando-se funções volumétricas e hipsométricas.

O procedimento usual para obtenção de estimativas volumétricas é por meio de equações volumétricas. Conforme Machado e Figueiredo Filho (2009), equações volumétricas podem ser de simples, dupla ou tripla entrada, sendo mais comum o uso das equações de dupla entrada, em que o volume da árvore se apresenta como a variável dependente, obtido em função de variáveis independentes de fácil mensuração, como o diâmetro à altura do peito e da altura da árvore.

As equações volumétricas são utilizadas para se estimar o volume de árvores do povoamento florestal, selecionadas por meio de amostragem e representativas da população. Devido a isso, essas equações são fundamentais na tomada de decisão do manejo florestal. Porém, a grande variabilidade ambiental e genética dos materiais leva à necessidade de desenvolvimento de equações específicas, para cada sítio (SANTOS et al., 2012) e tratamento silvicultural aplicado.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver equações volumétricas para plantios puros de tachi-branco, avaliando o efeito do espaçamento inicial de plantio nas estimativas volumétricas.

2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* se destacam no cenário florestal. Além destes dois gêneros, outras espécies possuem potencial de utilização comercial, sendo uma dessas espécies o tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima).

O tachi-branco é uma espécie leguminosa arbórea de ocorrência na região centro-oeste e norte do Brasil. Possui maior adaptabilidade a locais abertos, sem sombreamento.

Esta espécie possui múltiplas utilizações. O tachi-branco possui rápido crescimento, em que sua madeira apresenta propriedades que indicam seu uso energético. Além dessa utilização, o tachi-branco é indicado para arborização de praças, parques e rodovias, para recuperação de áreas degradadas, usos nobres e como material a ser misturado ao cimento na construção civil.

Embora a espécie apresente características silviculturais promissoras, estudos sobre seu manejo e silvicultura são escassos. Assim, torna-se necessária a condução de estudos que permitam seu conhecimento multidisciplinar, como sua ecologia, silvicultura, crescimento e produção.

O estudo do manejo de uma espécie se dá, essencialmente, por meio do conhecimento de seu potencial produtivo em volume. A forma usual de se estimar o volume de árvores em um povoamento florestal se dá pelo uso de equações volumétricas, principalmente aquelas baseadas em modelos de dupla entrada. Assim, o estudo da volumetria é fundamental na tomada de decisão do manejo florestal da espécie.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Desenvolver equações volumétricas para plantios puros de tachi-branco, avaliando o efeito do espaçamento inicial de plantio nas estimativas de volume.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar duas abordagens para o diâmetro como variável independente nos modelos volumétricos;
- Testar a necessidade de equações individuais por espaçamento inicial de plantio;
- Desenvolver uma equação para predição do diâmetro equivalente (d_{eq}).

4 METODOLOGIA

Os dados utilizados são provenientes de um experimento sobre espaçamento inicial de plantio de tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima), implantado no ano de 2010 em Monte Dourado, distrito do município de Almeirim, no norte do estado do Pará, por meio de uma parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA com a empresa Jari Celulose S/A (Figura 1).



Figura 1. Localização do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim – PA. Elaboração: ROSÁRIO, W. A. S., 2019.

O experimento foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo três blocos, cada um com seis tratamentos. Os tratamentos testados foram os seguintes espaçamentos iniciais de plantio: $3,0 \times 1,5$ m; $3,0 \times 2,0$ m; $3,0 \times 2,5$ m; $3,0 \times 3,0$ m; $3,0 \times 3,5$ m; e $3,0 \times 4,0$ m, perfazendo os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, conforme croqui apresentado na Figura 2. As parcelas experimentais de todos os tratamentos foram instaladas com 3.060 m^2 (51×60 m) onde apenas as 49 plantas centrais constituíram a área útil da parcela, sendo as demais consideradas

como bordadura. As medições destas parcelas se deram nos anos de 2013 a 2019, com exceção do ano de 2017, contemplando as idades de 36,0, 45,1, 57,3, 68,8, 91,6 e 103,4 meses.

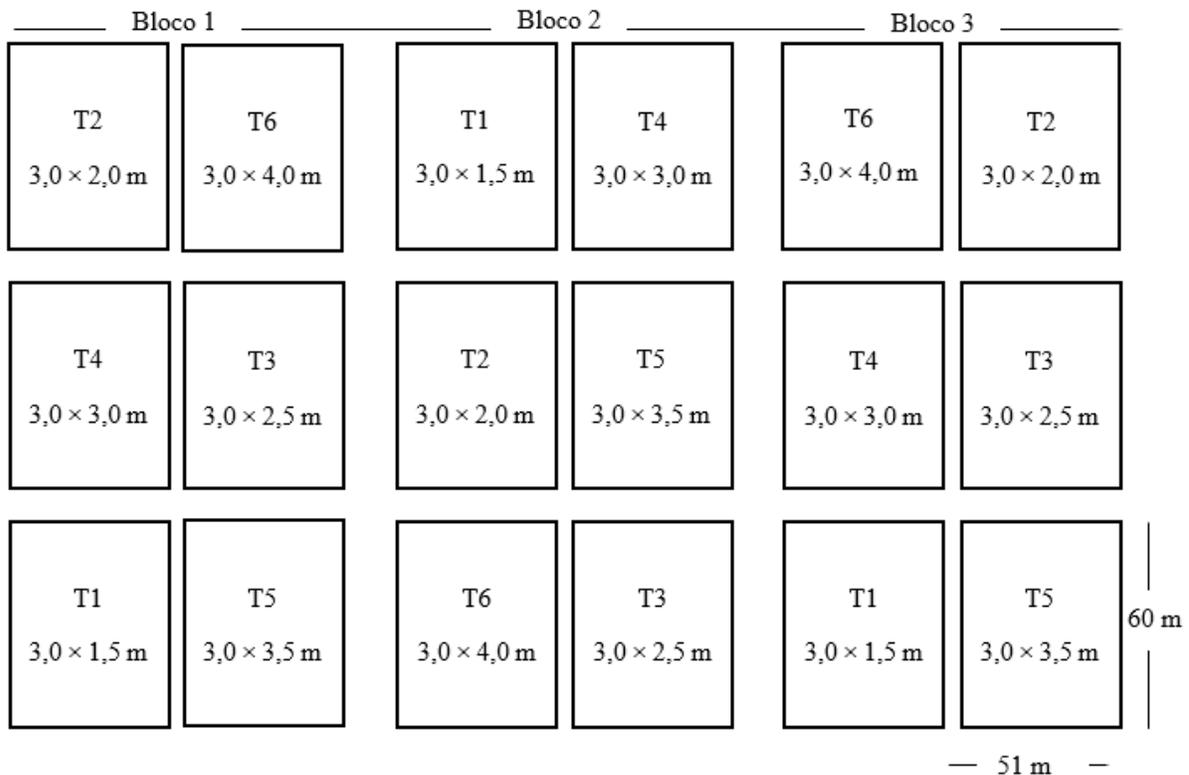


Figura 2. Croqui da área do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

Em cada parcela experimental, foram coletados os diâmetros à altura do peito (d) e altura total (h) de todas as árvores. Os diâmetros foram obtidos por fita métrica e a altura por meio de hipsômetro. Devido a consideração de número fixo de 49 árvores por parcela experimental, e as mesmas estarem distribuídas em diferentes espaçamentos, suas áreas variaram. Deste modo, as áreas foram de 220,5; 294,0; 367,5; 441,0; 514,5; 588,0 m², respectivamente aos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

As árvores cubadas foram selecionadas conforme a variação diamétrica e hipsométrica apresentada no experimento, contemplando as idades de 84,7 e 99,8 meses. Três árvores por tratamento em cada bloco e nas duas idades foram cubadas, totalizando 108 árvores. A cubagem foi conduzida de maneira absoluta, medindo-se diâmetros ao longo do fuste na altura de corte, a 0,70, 1,30, 2,00 m de altura do solo e, a partir daí, de 2,00 em 2,00 m, até a altura comercial da árvore. A medição dos diâmetros foi feita por fita métrica. Em cada ponto de medição no fuste, foi medida a espessura da casca, utilizando-se régua milimétrica. Os volumes das seções do fuste foram obtidos pelo método de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). A soma dos

volumes das seções até a altura comercial resultou no volume comercial do fuste com casca, perfazendo a variável foco deste trabalho.

A altura comercial correspondeu à altura em que ocorreu a circunferência de 15 cm. Nas situações em que os fustes não tiveram a medição da altura na circunferência de 15 cm, as alturas comerciais foram estimadas por meio da técnica de interpolação.

Por meio dos dados de volume por árvore, foram avaliados modelos volumétricos mais comumente utilizados e encontrados na literatura pertinente. Foram testados três modelos de simples entrada (Hohenadl-Krenm, Brenac e Husch) e quatro de dupla entrada (Spurr, Schumacher e Hall logaritmizado, Stoate e Naslund). Esses modelos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos testados para estimar o volume individual das árvores de povoamentos puros de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Categoria	Autor	Modelo
Simples entrada	Hohenadl-Krenm	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
	Brenac	$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 (1/d) + \varepsilon$
	Husch	$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$
Dupla entrada	Spurr	$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$
	Schumacher e Hall logaritmizado	$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$
	Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + \varepsilon$
	Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$

Em que: v = volume por árvore (m^3); d = diâmetro à altura do peito (d , em cm) para a situação 1 ou diâmetro equivalente (d_{eq} , em cm) para a situação 2; h = altura total da árvore (m); Ln = logaritmo neperiano; β_i = coeficientes a serem estimados; ε = erro aleatório. Fonte: SCOLFORO (2005).

Antes de se proceder os ajustes dos modelos, foi realizada uma análise para a verificação de possíveis valores discrepantes (*outliers*) nas variáveis utilizadas no ajuste. Os modelos foram ajustados considerando-se duas situações distintas. Na situação 1, a variável dependente utilizada nos modelos volumétricos foi o volume comercial com casca por fuste. Isto é, cada fuste foi considerado como uma árvore independente. Neste caso, as variáveis independentes foram o diâmetro à altura do peito (d) e altura total da árvore (h).

Por outro lado, na situação 2, a variável dependente utilizada foi o volume comercial com casca para a árvore. Esse volume foi obtido pelo somatório dos volumes comerciais com casca de cada fuste componente da árvore. Como forma de se considerar um diâmetro que representasse todos os fustes conjuntamente de cada árvore, foi calculado o diâmetro equivalente (d_{eq}). Esse diâmetro foi obtido pela raiz quadrada do somatório de cada diâmetro à altura do peito ao quadrado dos fustes de uma árvore, representando o diâmetro equivalente a uma determinada área seccional

(CAMPOS e LEITE, 2017). A expressão é dada por $d_{eq_j} = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2}$, em que d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente da j -ésima árvore (cm), d é diâmetro à altura do peito do i -ésimo fuste da j -ésima árvore (cm), medido a 1,30 m de altura do solo, e n o número de fustes da j -ésima árvore.

Primeiramente, os modelos foram ajustados a toda a base de dados, sem considerar a distinção de espaçamentos iniciais de plantio (tratamentos). O interesse foi obter o modelo mais adequado nesta etapa para que, posteriormente, ele também fosse testado independentemente a cada tratamento. Conforme Campos e Leite (2017), é indicado o uso de equações específicas conforme algumas características do povoamento florestal, dentre essas, o espaçamento de plantio.

Os modelos testados foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários. A significância do ajuste individual das equações foi avaliada pelo teste F e a significância individual dos coeficientes das equações foi avaliada pelo teste “t”, ambas a 5% de significância. Na ocasião de obtenção de coeficiente não significativo, a variável associada ao mesmo foi desconsiderada e o modelo reajustado. Desta forma, os coeficientes não significativos apresentados nas tabelas se referem ao primeiro ajuste, e os demais ao ajuste definitivo.

As estatísticas para avaliar o ajuste dos modelos foram o coeficiente de determinação ajustado R^2_{ajus} , erro padrão da estimativa relativo $S_{yx}\%$, ambos recalculados para a variável de interesse, e análise gráfica residual Res% (DRAPER e SMITH, 1998). Essas estatísticas podem ser obtidas conforme as seguintes expressões:

Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}): $R^2_{ajus} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) * \left(\frac{SQRes}{SQTotal}\right)$;

Erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$): $S_{yx}\% = 100 * \left(\frac{\sqrt{\frac{(V_{obs} - V_{est})^2}{n-p}}}{\overline{Vc\ cc}}\right)$;

Resíduos percentuais (Res%): $Res\% = 100 * \left(\frac{V_{obs} - V_{est}}{V_{obs}}\right)$.

Em que: n = número de observações; p = número de parâmetros; $SQRes$ = soma de quadrados dos resíduos; $SQTotal$ = soma de quadrados total; V_{obs} = valores observados de volume; V_{est} = valores estimados de volume; $\overline{Vc\ cc}$ = média dos valores observados para volume comercial com casca.

Para as equações em que a variável dependente sofreu transformação logarítmica, antes de se proceder ao recálculo, multiplicou-se o volume estimado pelo fator de correção da discrepância logarítmica de Meyer (IM) (MEYER, 1941). Essa correção foi apresentada incorporada à constante do modelo.

Após o ajuste das equações volumétricas, foi empregado o teste de identidade de modelos (TIM) conforme Regazzi e Silva (2010) e Campos e Leite (2017). O TIM foi utilizado para verificar

a possibilidade de uma única equação representar o volume individual das árvores para todos ou alguns grupos de tratamentos (Tabela 2).

Esse teste baseia-se na comparação entre a soma de quadrados dos resíduos em cada tratamento (modelo completo) e a soma de quadrados da diferença para o modelo ajustado com uma única base de dados contendo todos os tratamentos (modelo reduzido). Na ocasião do valor calculado da estatística F apresentar-se igual ou superior ao respectivo valor tabelar, conclui-se que não é recomendada a utilização de uma única equação para estimar o volume individual das árvores em diferentes espaçamentos, sendo a recíproca verdadeira. Neste teste, foi estabelecido o nível de 5% de significância.

Tabela 2. Análise de variância para o teste de identidade em plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

FV	GL	SQ	QM	F _{cal}	F _{tab}
Modelo completo	n ₁	SQM.C	-	-	-
Modelo reduzido	n ₂	SQM.R	-	-	-
Diferença	n ₁ - n ₂	SQDif	SQD/ (n ₁ - n ₂)	QMD/QMR	Valor de F tabelado
Resíduos	N - n ₁	SQRes	-	-	-
Total	N	SQTotal	-	-	-

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F_{calc} = estatística F calculada; F_{tab} = estatística F tabelada (α ; n₁-n₂ gl; N-n₁ gl); N = número total de observações SQTotal = soma de quadrados total; SQRes = soma de quadrados do resíduo; SQDif = soma de quadrados da diferença; n₁ = número de parâmetros do modelo completo, n₂ = número de parâmetros do modelo reduzido.

De posse dos dados de inventário, foram observados vários casos de árvores com mais de um fuste. Este fato foi observado em 67% das árvores do inventário. Diante desta situação e sabendo da necessidade de medição dos diâmetros de todos os fustes, necessária ao cálculo do d_{eq} da árvore, propôs-se uma equação para estimativa desta variável. Esse procedimento é importante para facilitar o trabalho em campo e conseqüente redução do tempo e custo do inventário.

Para isso, foram avaliadas equações lineares múltiplas, sendo as variáveis dependentes testadas o d_{eq} e $\ln(d_{eq})$. Como variáveis independentes, foram utilizadas as variáveis número de fustes de cada árvore, diâmetro mínimo e diâmetro máximo dentre os fustes da árvore, e respectivas transformações: (x^2 , x^3 , $\frac{1}{x}$ e $\ln(x)$). A seleção do modelo e variáveis apropriadas são tarefas complexas que devem ser executadas tomando-se o cuidado de explorar ao máximo as interrelações entre as variáveis (HENNEKENS; BURING, 1987). Nesta etapa, árvores com apenas um fuste foram desconsideradas na base de dados dos ajustes.

Para a determinação da equação, foi utilizado o processo de seleção de variáveis *Forward*. A vantagem deste procedimento é a simplicidade e ampla difusão (RYAN, 2008). Todavia, deve-se ter ciência que os procedimentos podem indicar um modelo que, não necessariamente, é tido como modelo ótimo. Um excelente modelo pode passar despercebido devido à restrição de adicionar apenas uma variável por vez (MANTEL, 1970).

A significância da equação se deu por meio do teste F e a dos coeficientes pelo teste “t”, ambas a 5% de significância. Além disso, foram utilizadas as mesmas estatísticas de avaliação usadas para as equações volumétricas (R^2_{ajust} , $S_{yx}\%$ e $\text{Res}\%$). Essas estatísticas foram calculadas para a variável de interesse, e, nos casos necessários, foi aplicado o fator de discrepância logarítmica de Meyer (IM). Além disso, foi observada a dispersão dos valores observados com os respectivos valores estimados de d_{eq} .

Selecionada a equação para estimativa do d_{eq} , a etapa seguinte consistiu na verificação do efeito do d_{eq} estimado na produção volumétrica por unidade de área de tachi-branco. Para isso, após a obtenção dos valores estimados de d_{eq} por árvore, foi obtido o volume por árvore, conforme equação desenvolvida nas etapas anteriores. O volume por parcela experimental se deu pelo somatório dos volumes das árvores contidas em cada parcela e que, submetido à extrapolação, foi obtido o volume por unidade de área ($V.ha^{-1}$).

Os volumes ($V.ha^{-1}$) obtidos por meio do d_{eq} estimado foram comparados aos respectivos volumes ($V.ha^{-1}$) obtidos com o d_{eq} observado. Por meio destes valores, primeiramente, foi realizado o teste “t” pareado, a 5% de significância. Em seguida, foi realizada análise visual para verificação de possíveis diferenças percentuais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 está apresentada a distribuição das árvores cubadas conforme as classes de diâmetro e altura total. A amplitude destas classes foi determinada empiricamente. Os valores fora e dentro dos parênteses se referem ao fuste principal e aos demais fustes, respectivamente. A maior parte dos fustes se concentrou nas classes de 9 a 17 cm de diâmetro e de 16 a 22 m de altura.

Tabela 3. Distribuição em classes de diâmetro e altura das árvores e fustes selecionados para cubagem de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Classe de Diâmetro (cm)	Classe de Altura Total (m)				
	14 f 16	16 f 18	18 f 20	20 f 22	22 f 24
5 f 7	-	-	(2)	-	-
7 f 9	1 (2)	1 (5)	(2)	(3)	(1)
9 f 11	2	4 (6)	1 (9)	(6)	-
11 f 13	-	10 (2)	18 (15)	1 (3)	-
13 f 15	-	8	17 (6)	9 (4)	1 (1)
15 f 17	-	2	10 (2)	10 (1)	(1)
17 f 19	-	-	2	4	2
19 f 21	-	-	-	3	-
21 f 23	-	-	-	2	-

Inicialmente, os modelos foram testados à base de dados na situação 1 (considerando-se cada fuste como uma árvore). Os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos em sua forma original estão apresentados no Apêndice. Os coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão estão apresentados na Tabela 4. As equações volumétricas proporcionaram valores de R^2_{ajust} semelhantes, assim como o $S_{yx}\%$, nas diferentes categorias e modelos avaliados. O coeficiente β_0 foi não significativo para os modelos de Stoate e Naslund, o que, de certa forma, é uma vantagem sob a ótica biológica, visto que o volume será zero quando o diâmetro e altura forem nulos.

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 1(uso do d) a fim de estimar o volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Autor	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
Hohenadl-Krenm	-0,0938	0,0144	0,0002	-	-	-	0,92	12,25
Brenac	-2,5129	0,7161	-17,6567	-	-	-	0,92	12,21
Husch	-7,6737	2,1872	-	-	-	-	0,90	14,21
Spurr	-0,9978	0,9902	-	-	-	-	0,91	12,94
Schumacher e Hall	-8,8260	2,1060	0,4609	-	-	-	0,91	13,36
Stoate modificado	-	0,0002	2,39E-05	0,0005	-	-	0,93	11,93
Naslund	-	0,0364	-0,0018	-0,0006	0,0001	0,0001	0,95	10,17

Os gráficos de dispersão residual para as estimativas do volume comercial com casca estão apresentados na Figura 3.

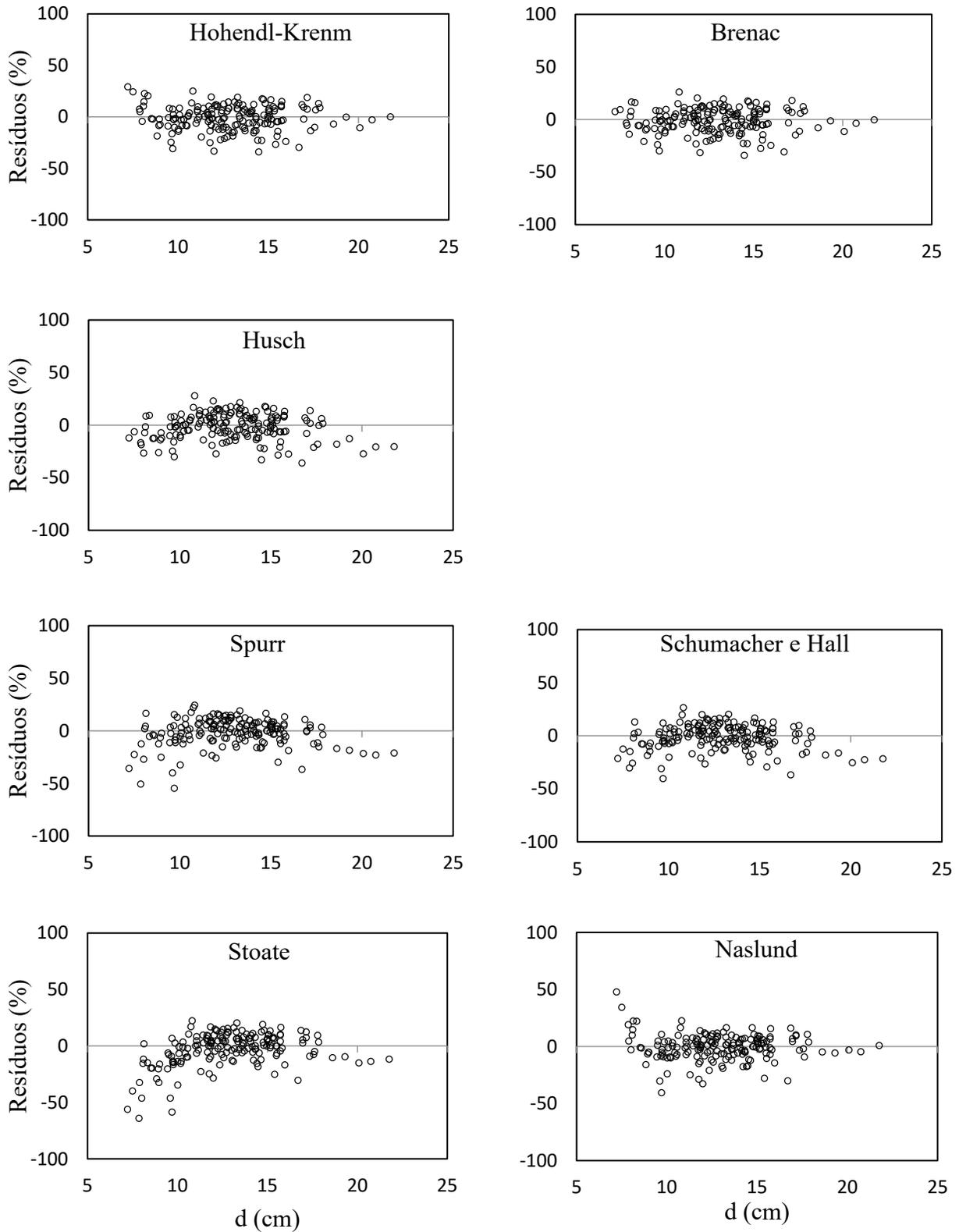


Figura 3. Dispersão residual para os modelos testados para a situação 1 (uso do d), na estimativa do volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

De acordo com a Figura 3, os modelos de simples e dupla entrada apresentaram resultados semelhantes, não sendo evidente a superioridade de algum. Os modelos de Hohenadl-Krenm e Naslund subestimaram os valores de volume comercial nas classes inferiores de diâmetro. Por outro lado, os modelos de Spurr e Stoate superestimaram o volume nas classes diamétricas mencionadas. Em todos os casos, a dispersão se situou, em sua maioria, na amplitude de $\pm 30\%$ entorno do eixo das abcissas.

Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão para os modelos testados na situação 2. Os valores de R^2_{ajust} e $S_{yx}\%$ foram superiores para os modelos de dupla entrada. Dentro de uma mesma categoria, os valores dessas estatísticas apresentaram pequena oscilação. Os coeficientes β_2 (modelo de Hohenadl-Krenm e Stoate), β_0 , β_4 e β_5 (modelo de Naslund) foram não significativos, e tiveram as respectivas variáveis independentes associadas a eles removidas, e o modelo reajustado.

Tabela 5. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 2 (uso do d_{eq}) a fim de estimar o volume de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Autor	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
Hohenadl-Krenm modificado	-0,2233	0,0264	-	-	-	-	0,93	10,98
Brenac	-5,1713	1,4911	-9,6753	-	-	-	0,93	10,48
Husch	-7,4818	2,1022	-	-	-	-	0,93	10,55
Spurr	-9,5320	0,9285	-	-	-	-	0,95	9,52
Schumacher e Hall	-9,1646	1,9121	0,7514	-	-	-	0,95	9,40
Stoate modificado	-0,1318	0,0007	-	0,0075	-	-	0,95	9,34
Naslund modificado	-	0,0076	0,0007	0,0005	-	-	0,95	9,43

Pode-se afirmar que os modelos de dupla entrada apresentaram melhores estimativas, em comparação aos de simples entrada. A partir das estatísticas de ajuste, notou-se que o de Hohenadl-Krenm apresentou os piores valores, enquanto o coeficiente β_0 do modelo de Naslund e o β_2 dos modelos de Hohenadl-Krenm e Stoate não foram significativos estatisticamente. Esse fato pode ser explicado pela menor correlação entre a altura e o volume observadas nos dados de cubagem.

Os resultados obtidos para os modelos selecionados foram muito próximos para R^2_{ajust} , variando de 0,93 a 0,95 e $S_{yx}\%$ de 9,34 e 10,98%. Outros estudos também encontraram pequena variação na precisão das equações ajustadas para espécies de eucalipto, conforme Schneider et al. (1997), Andrade e Leite (2001), Thiersch et al. (2006), Rocha et al. (2010), Azevedo et al. (2011) e Muller et al. (2014), nas quais as estatísticas R^2_{ajust} e $S_{yx}\%$ variaram de 0,87 a 0,99 e de 4,76 a 11,37%.

No estudo de Cerqueira et al. (2017), que trabalharam com *Tectona grandis* Linn F. mesorregião Nordeste do Pará, os valores de coeficientes de determinação ajustados (R^2_{ajust}) variaram entre 0,74 e 0,95 e erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) entre 10,26 e 14,49%. Resultados semelhantes com emprego de equações de volume para teca, foram observados por Drescher et al. (2014) e Vedruscolo et al. (2014), no estado de Mato Grosso.

Já nos estudos realizados por Dacosta (2008) e Thomas et al. (2006), para povoamentos de *Pinus taeda* L., os valores de $S_{yx}\%$ variaram de 9,43% a 13,97% e (R^2_{ajust}) variaram de 0,979 e 0,990. Portanto, valores que englobam os resultados obtidos neste estudo.

Na Figura 4 estão apresentadas as dispersões residuais na estimativa do volume comercial para árvores de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará, para a situação 2. O único modelo a apresentar tendência na estimativa do volume comercial foi o de Hohenadl-Krenm, ocorrendo subestimativa para árvores de menor porte.

Os demais modelos das duas categorias testadas forneceram estimativas livres de tendência. No entanto, os modelos de dupla entrada forneceram estimativas mais acuradas, com desvios percentuais mais próximos ao eixo horizontal, com destaque ao modelo de Schumacher e Hall.

Diante dos resultados apresentados, verifica-se que os modelos volumétricos que levaram em consideração o diâmetro equivalente (d_{eq}) das árvores como variável independente propiciaram resultados superiores àqueles que consideraram o diâmetro à altura do peito (d). Embora o modelo de Stoate tenha apresentado $S_{yx}\%$ ligeiramente inferior aos demais modelos, suas estimativas foram muito próximas àquelas geradas pelo modelo de Schumacher e Hall.

O modelo de Schumacher e Hall é um dos modelos mais utilizados para obtenção de estimativas volumétricas no setor florestal, além de ser conhecido por gerar estimativas precisas e livres de tendência (CAMPOS; LEITE, 2017). Devido a isso, ele foi considerado o mais adequado para estimar o volume comercial das árvores de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará, utilizando o diâmetro equivalente (d_{eq}) e altura total (h) da árvore.

O modelo de Schumacher e Hall foi utilizado para obtenção de estimativas volumétricas para várias espécies e condições no Brasil. Como exemplo, Colpini et al. (2009) utilizaram o modelo de Schumacher e Hall para estimar o volume de espécies de Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso, obtendo resultados considerados satisfatórios.

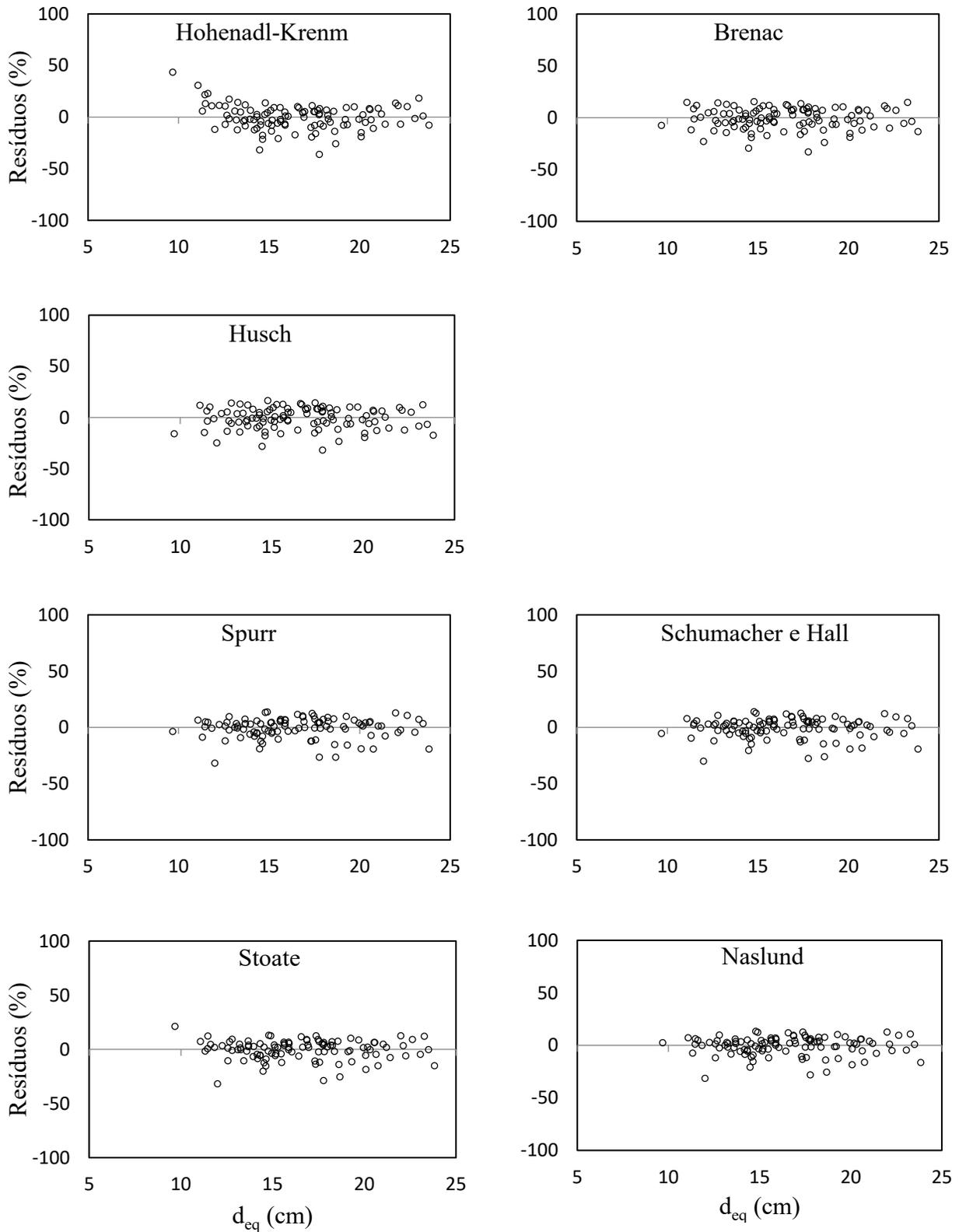


Figura 4. Dispersão residual para os modelos testados para a situação 2 (uso do d_{eq}), na estimativa do volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

Trabalhando com dados de espécies de Floresta Ombrófila Densa, no município de Caracarái, região sul de Roraima, Tonini e Borges (2015) selecionaram o modelo de Schumacher e Hall como o mais adequado na obtenção de estimativas de volume total e comercial. Silva e Santana (2014), ao testarem diferentes modelos volumétricos para espécies florestais de terra firme, no município de Paragominas, Pará, selecionaram o modelo de Schumacher e Hall como o mais apropriado para estimação volumétrica das árvores comerciais da área de estudo.

Para espécies nativas do bioma amazônico, o modelo de Schumacher e Hall foi selecionado para obtenção de estimativas volumétricas. Este modelo foi utilizado para obter estimativas volumétricas de espécies comerciais, como *Goupia glabra* Aubl. (cupiúba), *Qualea albiflora* Warm. (cambará), *Trattinnickia burseraefolia* Willd. (amescla), *Erismia uncinatam* Warm. (cedrinho) e *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. (itaúba) (LANSSANOVA et al., 2018).

Rolim et al. (2006), trabalhando com modelos volumétricos para árvores da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí na Serra dos Carajás, Pará, constataram que o modelo de Schumacher e Hall proporcionava volumes com melhor precisão que outros doze modelos avaliados. Higuchi (2000), testando equações de volume para floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus, indicou o modelo de Schumacher e Hall como o mais adequado.

Assim como em outros trabalhos a equação de Schumacher e Hall apresenta a melhor eficiência de ajuste e tem sido utilizada na estimativa de volume de árvores, como pode ser visto nos trabalhos de Silva et al. (1996); Santos et al. (2010); Azevedo et al. (2011). Nesse último trabalho o modelo de Schumacher e Hall foi usado para estimar o volume de *Eucalyptus grandis* no município de Alagoinhas na Bahia.

Este modelo também foi o selecionado em várias pesquisas envolvendo plantios comerciais. Thomas et al. (2006), avaliando equações de volume para plantios de *Pinus taeda* L., também observaram superioridade do modelo de Schumacher e Hall.

Para a *Acacia mangium* Willd., Veiga et al. (2000) obtiveram bons resultados com o modelo de Schumacher e Hall, na forma logaritmizada. O modelo também apresentou os melhores indicadores e foi selecionado como o mais preciso para *Acacia miersii* Benth., segundo o estudo realizado por Sanquetta et al. (2016).

Oliveira et al. (2011), ao testarem sete modelos para estimar o volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. em Rio Negro no Estado do Paraná, concluíram que o modelo de Schumacher-Hall foi o mais satisfatório entre os avaliados.

Na sequência, o modelo selecionado na etapa anterior foi testado à base de dados obtida por espaçamento. Embora o uso do diâmetro equivalente tenha promovido resultados superiores em

relação àqueles obtidos pelo uso do diâmetro à altura do peito, optou-se em verificar o comportamento do modelo de Schumacher e Hall por espaçamento, nas situações 1 e 2. Os coeficientes obtidos e as estatísticas de ajuste e precisão estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher e Hall para ambas situações testadas, a fim de estimar o volume de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Situação	Tratamento	β_0	β_1	β_2	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
1 (uso do d)	T1 (3,0 × 1,5 m)	-7,6756	2,2084	-	0,89	16,82
	T2 (3,0 × 2,0 m)	-8,2174	2,4150	-	0,90	13,53
	T3 (3,0 × 2,5 m)	-8,2889	2,4460	-	0,93	11,25
	T4 (3,0 × 3,0 m)	-9,2031	2,0828	0,6023	0,92	10,60
	T5 (3,0 × 3,5 m)	-7,8885	2,2655	-	0,91	11,99
	T6 (3,0 × 4,0 m)	-7,5987	2,1384	-	0,89	14,23
2 (uso do d_{eq})	T1 (3,0 × 1,5 m)	-8,9758	1,8776	0,7272	0,90	11,00
	T2 (3,0 × 2,0 m)	-9,6403	1,8790	0,9436	0,96	8,51
	T3 (3,0 × 2,5 m)	-9,8982	2,1343	0,8035	0,99	4,52
	T4 (3,0 × 3,0 m)	-9,3737	1,7865	0,9378	0,93	9,25
	T5 (3,0 × 3,5 m)	-8,2573	2,3697	-	0,97	6,70
	T6 (3,0 × 4,0 m)	-8,4912	1,8522	0,5733	0,90	10,04

Assim como para o ajuste único, sem distinção dos espaçamentos, as estatísticas utilizadas demonstraram superioridade em empregar o diâmetro equivalente (situação 2) das árvores na estimativa do volume comercial (Tabela 6). Além disso, a altura total foi uma variável não significativa no modelo para a situação 1 nos diferentes espaçamentos, com exceção do tratamento 4 (espaçamento 3,0 x 3,0 m). Ao utilizar o diâmetro equivalente, somente para o tratamento 5 (espaçamento 3,0 x 3,5 m), o coeficiente β_2 foi não significativo.

Os menores valores de R^2_{ajust} e maiores valores de $S_{yx}\%$ foram obtidos nos extremos de espaçamento, para a situação 2. Resultado esperado dada à menor correlação do volume comercial com o diâmetro equivalente, verificada em análises preliminares.

A análise gráfica residual para os seis tratamentos estudados, está apresentada na Figura 5 (situação 1) e Figura 6 (situação 2). Os diferentes tratamentos apresentaram resultados semelhantes, não sendo evidente a superioridade de algum.

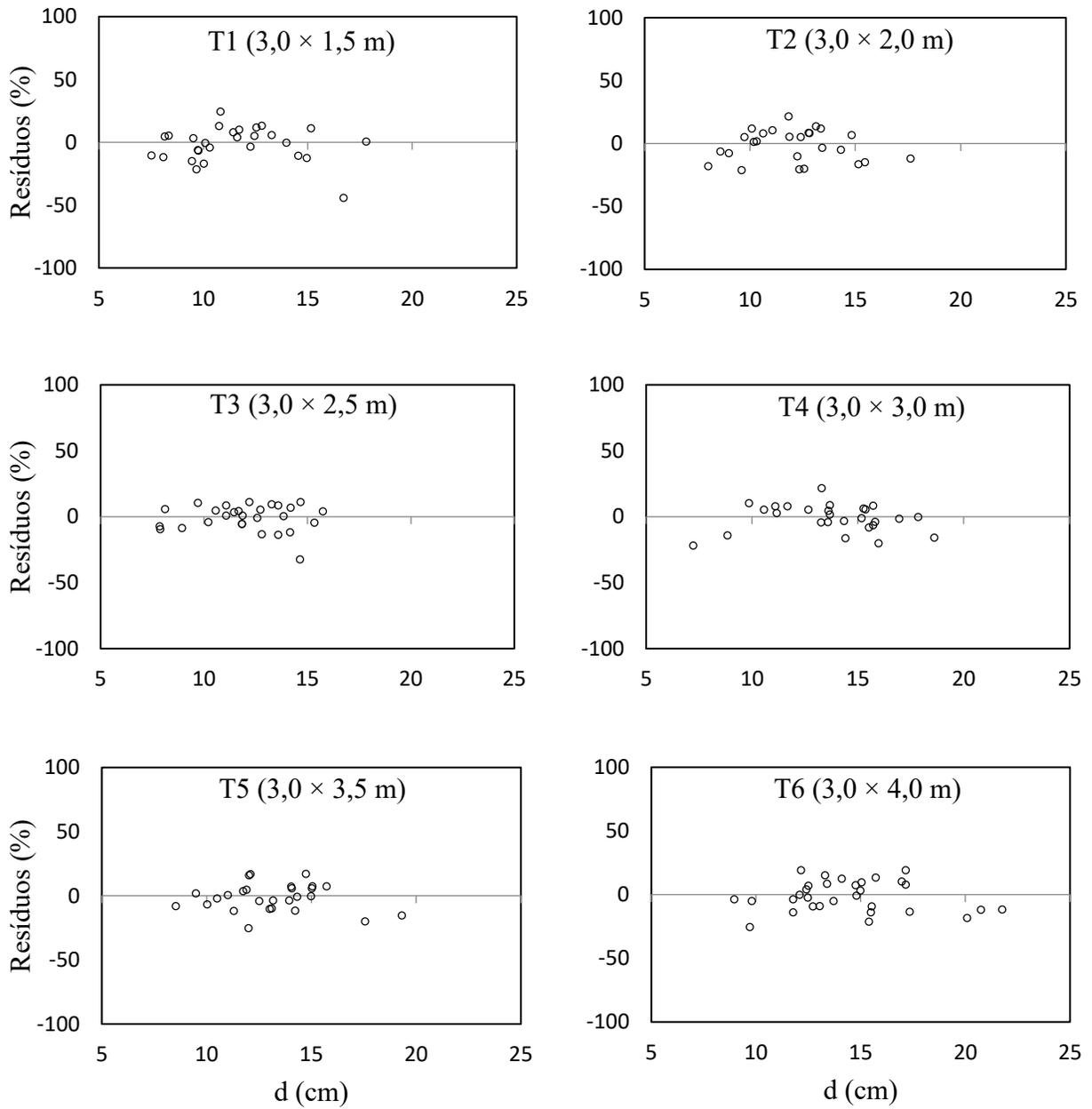


Figura 5. Dispersão residual para o modelo de Schumacher e Hall por espaçamento para a situação 1 (uso do d), na estimativa do volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

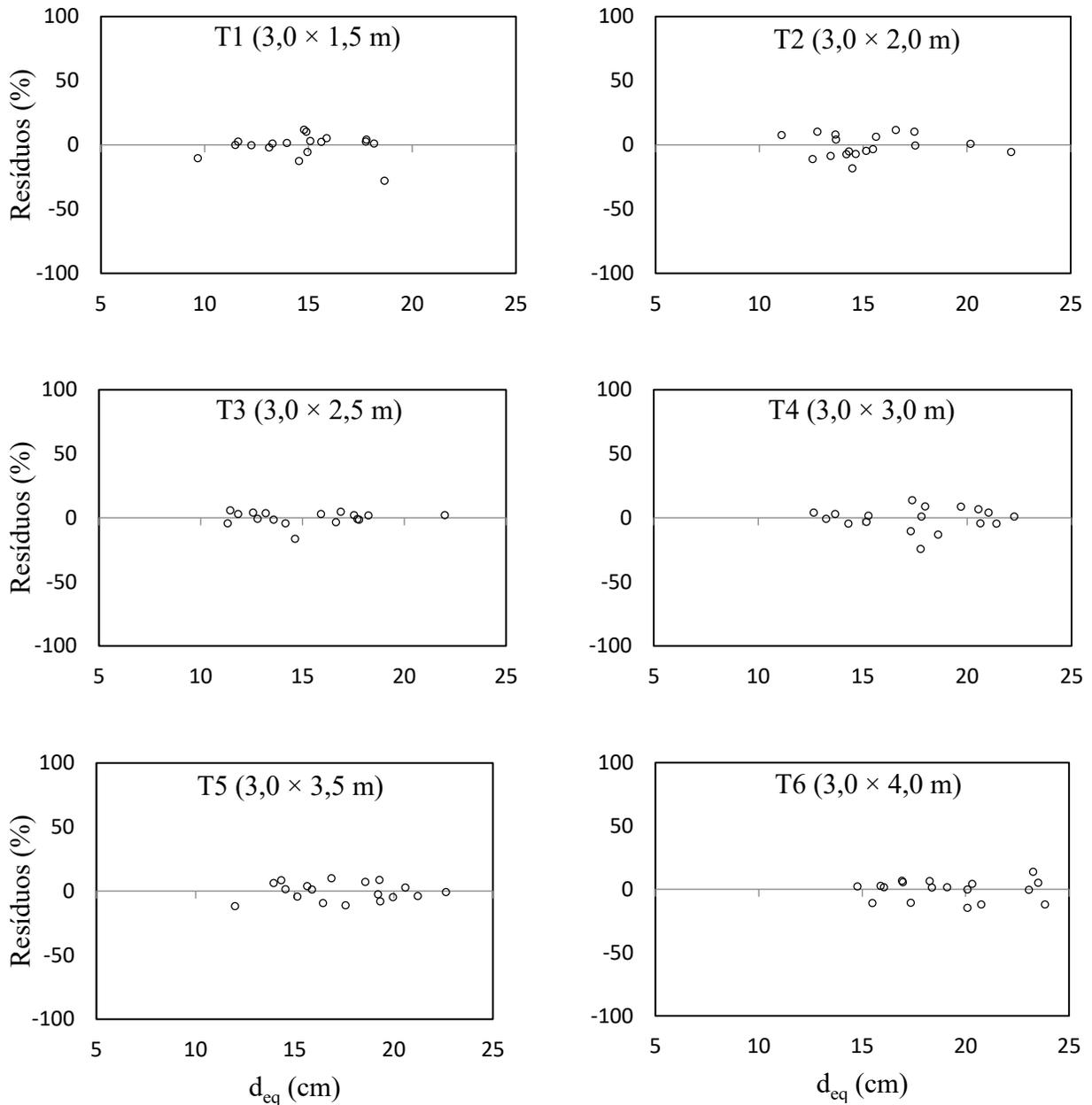


Figura 6. Dispersão residual para o modelo de Schumacher e Hall por espaçamento para a situação 2 (uso do d_{eq}), na estimativa do volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

Por meio das estatísticas de precisão, juntamente com a análise de resíduos, foi constatado que o modelo de Schumacher e Hall foi eficiente para estimativa de volume de *Tachigali vulgaris* nos diferentes espaçamentos avaliados. Em seguida, foi realizada uma análise para a verificação de possíveis *outliers*. Onde foram retiradas da base de dados duas árvores com valores discrepantes. Posteriormente, testou-se a possibilidade de reduzir o número de equações provenientes deste modelo, por meio de um teste de identidade de modelos. O resultado deste teste está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Teste de identidade de modelos para a situação 2 (uso do d_{eq}), com as seis combinações de espaçamentos em plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

FV	GL	SQ	QM	F _{cal}	F _{tab}
Modelo completo	17	5,5159	-	-	-
Modelo reduzido	3	5,5077	-	-	-
Diferença	14	0,0082	0,0006	1,6118	1,8045
Resíduos	89	0,0322	0,0004	-	-
Total	106	5,5159	-	-	-

Em que: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F_{calc} = estatística F calculada; F_{tab} = estatística F tabelada.

Pela análise da Tabela 7, verifica-se que o valor calculado da estatística F foi menor que o respectivo valor tabelado, de modo que não há evidências suficientes para se rejeitar a hipótese de nulidade (H_0). Desta forma, assume-se que é possível utilizar uma única equação (com os mesmos coeficientes) para todos os espaçamentos. Isto indica que os coeficientes obtidos para os modelos avaliados não apresentaram diferenças estatísticas, a 5% de significância.

Esse resultado permite inferir que os volumes gerados pelas equações desenvolvidas isoladamente por tratamento não diferiram estatisticamente. Uma das possíveis razões para esse resultado é a alta taxa de mortalidade de árvores nos menores espaçamentos de plantio, a qual variou de 45 a 50%, enquanto nos maiores espaçamentos esse percentual foi próximo a 15%. Isso fez com que, estatisticamente, as diferenças observadas nas estimativas volumétricas para os diferentes tratamentos fossem nulas.

Para corroborar este fato, as equações selecionadas para cada tratamento foram utilizadas em uma simulação, na qual foram estimados os volumes de árvores fictícias, cujos diâmetros e alturas foram simulados conforme variação detectada nos dados observados da cubagem. Para isso, três classes de altura total foram adotadas, variando-se valores de diâmetro equivalente. Ainda, foram simuladas três classes de diâmetro equivalente, variando-se valores de altura. Os resultados desta análise estão na Figura 7.

Por meio da Figura 7, é evidente a compatibilidade entre as estimativas de volume, para as diferentes classes de altura e diâmetro equivalente. A menor proximidade das estimativas foi observada nas classes superiores de diâmetro equivalente, com maior intensidade nas classes menores de altura total, contudo, com baixa magnitude. Os valores mais próximos de volume foram observados ao variar as classes de diâmetro equivalente, indicando a menor influência da altura nas estimativas volumétricas em comparação ao diâmetro equivalente.

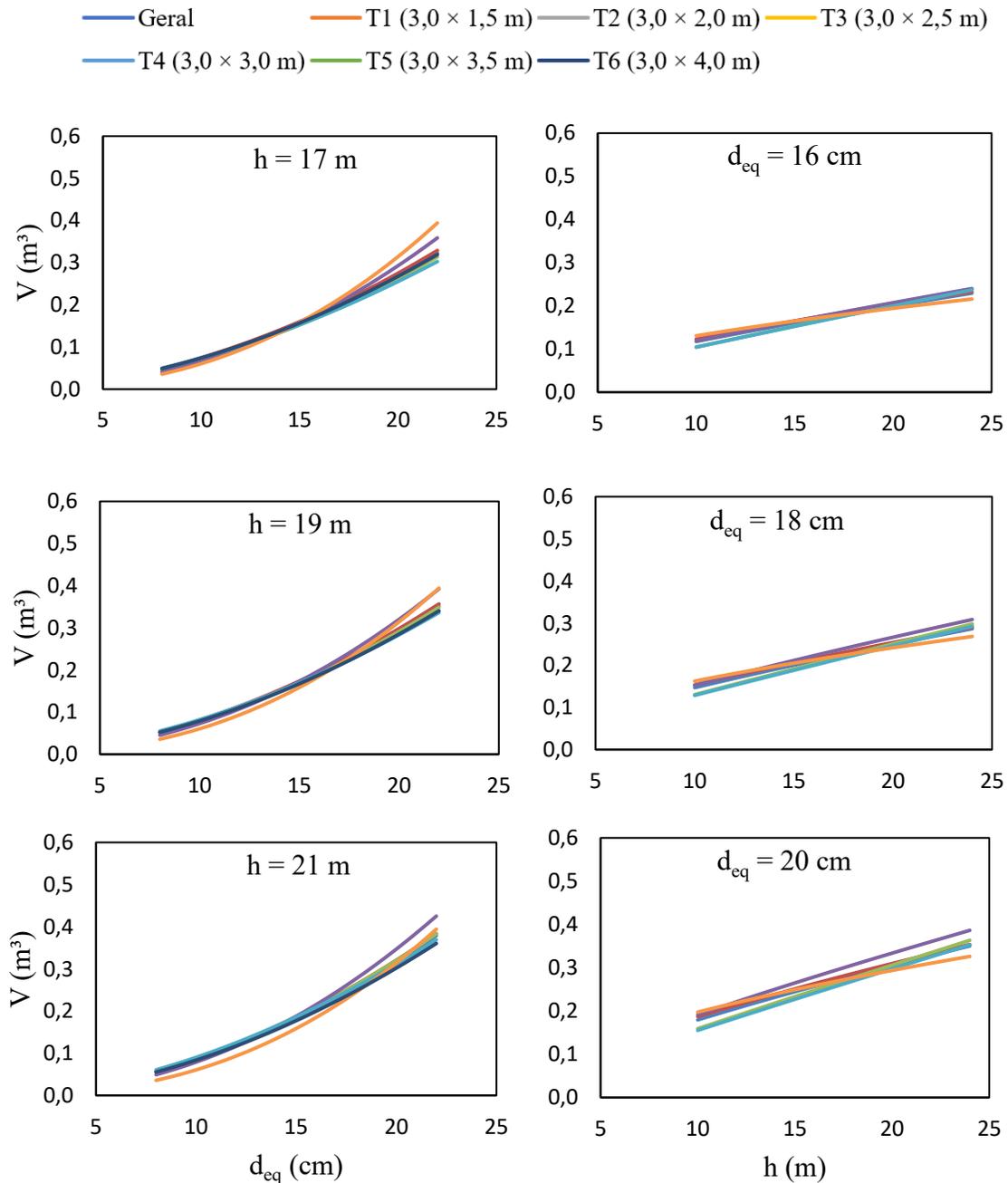


Figura 7. Comportamento das estimativas volumétricas geradas pela equação selecionada, sob variações de classes de altura e diâmetro equivalente, para árvores de plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

Assim sendo, por meio do teste de identidade (Tabela 7) e análise gráfica das estimativas volumétricas (Figura 7), foi possível constatar que, no sistema de plantio estudado, a densidade de plantio não afetou de maneira significativa o volume individual das árvores. Diante disso,

recomenda-se a utilização da equação geral $v = e^{(-9,164635+1,912123 \ln(d_{eq})+0,751405 \ln(h))}$ para

obtenção das estimativas volumétricas de árvores de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará, com o R^2_{ajust} de 0,95 e $S_{yx}\%$ de 9,40.

A etapa seguinte consistiu no desenvolvimento de uma equação para estimar o diâmetro equivalente (d_{eq}). Para tanto, foram utilizados os dados do inventário florestal. Para determinar a equação, foram testadas duas variáveis dependentes, d_{eq} e $\ln(d_{eq})$, e três variáveis independentes, número de fustes de cada árvore, diâmetro mínimo e diâmetro máximo, com 4 transformações (x^2 , x^3 , $\frac{1}{x}$ e $\ln(x)$). As estatísticas de avaliação de modelos foram superiores aos modelos que utilizaram o $\ln(d_{eq})$ como variável dependente. Ainda, a dispersão residual demonstrou maior precisão e menor tendência nas estimativas para as equações que utilizaram o $\ln(d_{eq})$ como variável dependente. Assim, a equação $d_{eq} = e^{(0,006421+1,479811\ln(d_{max})-0,091435d_{max}+0,001482d_{max}^2+0,000018d_{min}^3)}$ foi a selecionada, em que d_{eq} representa o diâmetro equivalente por árvore (cm); d_{max} e d_{min} são os diâmetros à altura do peito (cm) máximo e mínimo, respectivamente; e “e” o exponencial (2,718282).

Esta equação promoveu os valores de F de 4.548,68, $S_{yx}\%$ de 11,53% e R^2_{ajust} de 0,8229. Na Figura 8, estão apresentadas a dispersão dos valores observados e estimados de d_{eq} (a) e a dispersão residual (b). As estimativas foram próximas aos respectivos valores observados, dada à dispersão dos pontos sobre a linha de 45°. Contudo, apresentaram baixa precisão em quase toda a amplitude de valores de d_{eq} , o que pode ser observado na dispersão residual (Figura 8b).

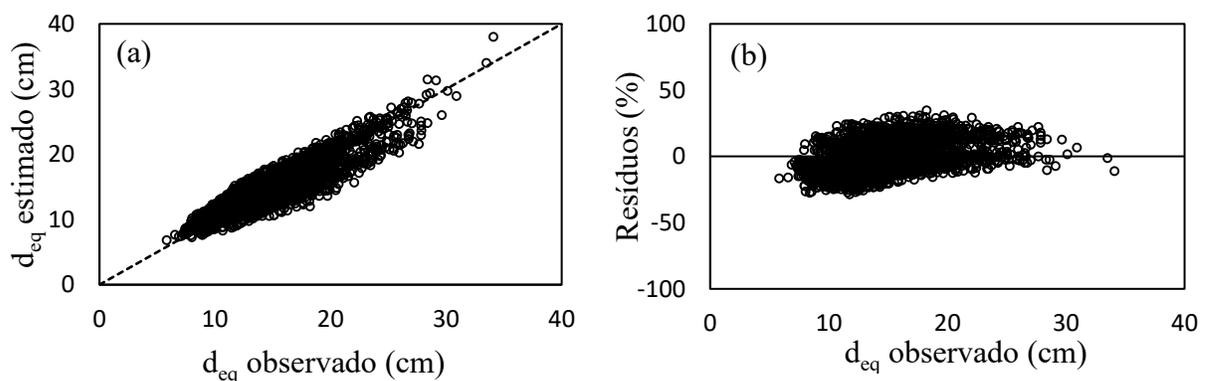


Figura 8. Dispersão dos valores observados e estimados (a) e dispersão residual (b) para o modelo proposto para d_{eq} para árvores de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

De posse da equação, estimou-se o d_{eq} das árvores das parcelas e o volume individual respectivo, obtendo, assim o volume por parcela e por hectare. O teste “t” pareado foi aplicado para verificar a compatibilidade entre os volumes por unidade de área ($V.ha^{-1}$) obtidos pelo d_{eq}

observado e estimado. Avaliando os valores distribuídos por tratamento, a estatística “t” foi de 0,23 (p-valor = 0,83). Ao observar esta estatística por idade (meses), o valor de “t” foi igual a 1,16 (p-valor = 0,30). Esses resultados indicam que as diferenças existentes não foram válidas estatisticamente.

Embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas, torna-se interessante o conhecimento do comportamento dessas diferenças em função dos tratamentos e da idade. Na Figura 9 está apresentada a diferença percentual média e os respectivos desvios padrões para os tratamentos avaliados (a) e idade (b).

Menores compatibilidades de volume foram observadas para T1, T2, T4, T5 e T6. Para T4, T5 e T6, essas diferenças podem ser explicadas pelo fato do aumento do número de fustes à medida que se aumenta o espaçamento de plantio, característica observada para o tachi-branco. Associado a esse fato, verificou-se que quanto maior o número de fustes da árvore, maior tende a ser a diferença entre os diâmetros mínimos e máximos dos fustes. Ainda, quanto maior a diferença entre esses diâmetros, menos precisa foram as estimativas de d_{eq} . É importante mencionar que essas diferenças se situaram entorno de $\pm 5\%$ apenas. Em função da idade, as diferenças percentuais entre os volumes obtidos pelos diferentes valores de d_{eq} foram mínimas, entorno de $\pm 1\%$.

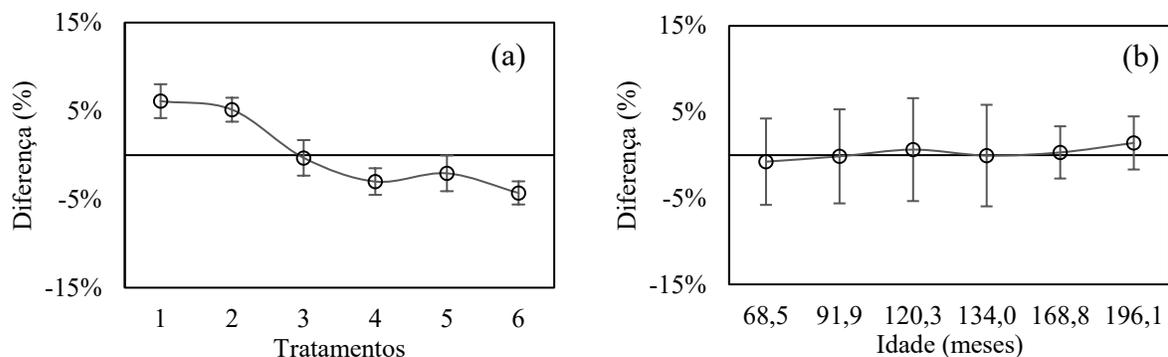


Figura 9. Diferença percentual média e desvio padrão nas estimativas de volume por unidade de área obtidos por d_{eq} observado e estimado, por tratamento (a) e idade (b), para plantios de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

Uma observação importante é que a equação para estimar o d_{eq} poderá ser utilizada somente nos casos em que a árvore conter mais de dois fustes e existir diferenças entre os diâmetros mínimos e máximos. Na ocasião de alguma árvore possuir dois ou mais fustes com mesmo diâmetro, o d_{eq} deverá ser obtido conforme procedimento tradicional, apresentado na metodologia, ou, mesmo,

pela expressão $d_{eq} = d\sqrt{n}$, em que d corresponde ao diâmetro à altura do peito (cm) e n o número de fustes da árvore.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, os modelos volumétricos de dupla entrada forneceram estimativas mais precisas em relação aos de simples entrada. Pela característica de perfilamento do *Tachigali vulgaris*, é vantajoso o uso do diâmetro equivalente na equação volumétrica, em substituição ao diâmetro à altura do peito. O espaçamento de plantio não exerceu influência no desenvolvimento de equações de volume independentes e, deste modo, uma única equação pode ser utilizada para obtenção de volume por árvore para árvores de *Tachigali vulgaris*. A equação selecionada é baseada no modelo de Schumacher e Hall. O diâmetro equivalente pode ser estimado via equação, cujas estimativas não influenciaram o volume por unidade de área.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Uso da geometria analítica para quantificação do volume de árvores individuais. **Revista Árvore**. 24(4): 481-486. 2001.
- AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 6(1): 105-112. <http://dx.doi.org/10.5039/agrariav6i1a861>. 2011.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5.ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV. 636 p. 2017.
- CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme - *Sclerolobium paniculatum***. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, Circular técnica, 8, 10 p. 1983.
- CARVALHO, P. E. R. **Tachi-branco**. Colombo: Embrapa Florestas, 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). 2005.
- CERQUEIRA, C. L.; LISBOA, G. S.; FRANÇA, L. C. J.; MÔRA, R.; MARQUES, G. M.; SALLES, T. T.; BRIANEZI, D. Modelagem da altura e volume de *Tectona grandis* L. F. na mesorregião Nordeste do Pará. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Nativa, Sinop, v.5, esp., p.606-611. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa22>. 2017.
- COLPINI, C; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazônica**. vol. 39(1). p 97 – 104. 2009.
- DACOSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamento jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, República Argentina**. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2008.
- 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, PA. **Anais...** Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical: USDA-Serviço Florestal; Belém, PA: EMBRAPACPATU, p. 148-153. 1995.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 706p. 1998.
- DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; SILVA, V. S. M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 1, n. 2, p. 65- 70, 2014.
- FARIA, M. C. G. **Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado: caracterização anatômica, física e energética**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 103p. 2016.

GRIFFITH, J. J., DIAS, L. E. & JUCKSCH, I. Rehabilitation of mine sites in Brazil using native vegetation. In S.K. Majumdar, E.W. Miller & F.J. Brenner, eds. **Forests - a global perspective**, p. 470-488. Easton, Pennsylvania, USA, Pennsylvania Academy of Science. 1996.

HENNEKENS, C. H.; BURING, J. E. **Epidemiology in Medicine**. Boston: Little, Brown and Company, p.287-323. 1987.

HIGUCHI, N. Amazônia Interesses e Conflitos - **Manejo florestal na Amazônia**. 2000.

Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ: **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília: IBÁ, ano base 2018. 80p. Disponível em: <http://www.iba.org>. Acesso em: 12/11/2019. 2019.

LANSSANOVA, L. R.; SILVA, F. A; SCHONS, C. T.; SILVA, A. C. Comparison between different methods for estimating volume of brazilian Amazony tree species. **BIOFIX Scientific Journal**. v. 3 n. 1 p. 109-115. 2018.

LIMA, R. M. B. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. (Tese), Doutorado em Ciências Florestais, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 212p. 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v.1, 373 p. 1992.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava: Unicentro, 2. ed. 316 p. 2009.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M.; BARROS, D. A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2000.

MANTEL, N. Why Stepdown Procedures in Variable Selection. **Technometrics**, 1970.

MEYER, H. A. A correction term for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. **The Pensylvanian State Forest School: Research Paper**, v. 7, 1-7pp, 1941.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JUNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. **Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*): Leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória**. Comunicado Técnico. Macapá: Embrapa Amapá, n.28, 5p. 1999.

MULLER, M. D.; SALLES, T. T.; PACIULO, D. S. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. R. T. Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. **Floresta**. 44(3): 473-484. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v44i3.33149>. 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, V. M. **Crescimento e nutrição mineral de Taxi-branco-de-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) micorrizadas e adubadas com diferentes fontes de fosfato natural**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 77p. 1997.

- OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; SANTOS, W. C. **Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro, PR.** Colombo: Embrapa Florestas, 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 275). 2011.
- ORELLANA, B. B. M. A. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF. 77f. 2015.
- PEREIRA, B. A. **Estudo morfoanatômico da madeira, casca e folha de duas variedades vicariantes de *Sclerolobium paniculatum* Vogel (Leguminosa, *Caesalpinioideae*) de mata e cerrado.** Piracicaba: ESALQ, 192p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). 1990.
- REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.315-320. 2010.
- ROCHA, T. B.; CABACINHA, C. D.; ALMEIDA, R. C.; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake no Planalto da Conquista-BA. **Enciclopédia Biosfera**. 6: 1-13. 2010.
- ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta amazônica**, v.36, n.1, p.107-114, 2006.
- ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silvicultura e tecnologia de espécies nativas da Mata Atlântica.** Editora Rona, Belo Horizonte. 160p. 2018.
- ROSÁRIO, W. A. S. **Variações da densidade básica do lenho de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio.** Parauapebas-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66p. 2019.
- RYAN, T. P. **Modern regression methods.** [S.l.]: John Wiley & Sons. V. 655. 2008.
- SANQUETTA, M. N. I; COUTINHO, V. M.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. O uso de modelos alométricos tradicionais na estimativa do peso seco aéreo individual para acácia negra. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.13 n.23; p. 2016.
- SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométrica para plantio de *Ocotea porosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, PR, v. 32, n. 69, p. 13-21, 2012.
- SANTOS, C. S. A.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; GOUVEIA, J. F.; SILVA, A. O. Modelos Simétricos Transformados não lineares com aplicação na estimativa volumétrica em Híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Pólo Gesseiro do Araripe – PE. SINAPE – In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19, **Anais...** Águas de São Pedro, 2010.
- SCHNEIDER, P. R.; COELHO, M. C. B.; ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Equações de volume para *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinadas para a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. 27(3): 425-428. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781997000300010>. 1997.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**. Lavras: FAEPE, 2005.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.5, p. 631-636. 2014.

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 20, p. 467 - 481, 1996.

SILVA, M. O. S. **Crescimento e qualidade da madeira da espécie *Tachigali vulgaris* cultivada em diferentes espaçamentos para uso bioenergético**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66p. 2018.

SOUSA, V. G.; BRIENZA JR., 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. Documentos Embrapa, 426. 2016.

TERRA, T. D. R. Avaliação físico-química do carvão de cachamorra (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) e pau-terra de folha larga (*Qualea grandiflora* Mart.). **Bioenergia em revista: diálogos**, n. 2, p.120-133, 2017.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; REZENDE, G. D. S. P. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**. 12: 167-181. 2006.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p.319-327, 2006.

TONINI, H; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 111-117. 2015.

VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. V.; SILVA, M. A. Rendimento da carbonização e qualidade do carvão vegetal de madeiras do cerrado em comparação ao *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 20, n.1, p. 93-99, 1996.

VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; BRASIL, M. A. M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Wild. **Cerne**, Lavras, v. 6, p. 103 - 107, 2000.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S.; MOTTA, A. S. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1333-1341, 2014.

YARED, J. A. G. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia. Silvicultura, São Paulo, n. 42, t. 1, p. 119-122, 1990. **Edição dos Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro**, Campos do Jordão. 1990.

APÊNDICE

Coefficientes e estatísticas de avaliação dos ajustes dos modelos volumétricos em sua forma original.

Tabela 8. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 1 (uso do d) a fim de estimar o volume comercial de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Autor	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
Hohenadl-Krenm	-0,0938	0,0144	0,0002	-	-	-	0,92	12,25
Brenac	-2,5129	0,7161	-17,6567	-	-	-	0,92	12,21
Husch	-7,6737	2,1872	-	-	-	-	0,90	14,21
Spurr	-0,9978	0,9902	-	-	-	-	0,91	12,94
Schumacher e Hall	-8,8260	2,1060	0,4609	-	-	-	0,91	13,36
Stoate	-0,0395 ^{ns}	0,0004	1,33E-05	0,0026	-	-	0,93	11,93
Naslund	0,1974 ^{ns}	-0,0201	0,0004	0,0022	-3,10E-05	-0,0175	0,95	10,17

Em que: ^{ns}: coeficiente não significativo a 5% de significância.

Tabela 9. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para a situação 2 (uso do d_{eq}) a fim de estimar o volume de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Autor	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
Hohenadl-Krenm	-0,0487	0,0051	0,0006 ^{ns}	-	-	-	0,93	10,98
Brenac	-5,1713	1,4911	-9,6753	-	-	-	0,93	10,48
Husch	-7,4818	2,1022	-	-	-	-	0,93	10,55
Spurr	-9,5320	0,9285	-	-	-	-	0,95	9,52
Schumacher e Hall	-9,1646	1,9121	0,7514	-	-	-	0,95	9,40
Stoate	-0,0799	0,0005	1,03E-05	0,0048	-	-	0,95	9,34
Naslund	0,1334 ^{ns}	0,0238	0,0012	0,0015	-2,88E-05 ^{ns}	0,0082 ^{ns}	0,95	9,43

Em que: ^{ns}: coeficiente não significativo a 5% de significância.

Tabela 10. Coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher e Hall para ambas situações testadas, a fim de estimar o volume de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Situação	Tratamento	β_0	β_1	β_2	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
1 (uso do d)	T1 (3,0 × 1,5 m)	-8,2130	2,1674	0,2166 ^{ns}	0,89	16,82
	T2 (3,0 × 2,0 m)	-9,0025	2,3124	0,3528 ^{ns}	0,90	13,53
	T3 (3,0 × 2,5 m)	-9,2440	2,3884	0,3735 ^{ns}	0,93	11,25
	T4 (3,0 × 3,0 m)	-9,2031	2,0828	0,6023	0,92	10,60
	T5 (3,0 × 3,5 m)	-7,8832	2,2655	0,3065 ^{ns}	0,91	11,99
	T6 (3,0 × 4,0 m)	-8,3328	2,1065	0,2765 ^{ns}	0,89	14,23
2 (uso do d_{eq})	T1 (3,0 × 1,5 m)	-8,9758	1,8776	0,7272	0,90	11,00
	T2 (3,0 × 2,0 m)	-9,6403	1,8790	0,9436	0,96	8,51
	T3 (3,0 × 2,5 m)	-9,8982	2,1343	0,8035	0,99	4,52
	T4 (3,0 × 3,0 m)	-9,3737	1,7865	0,9378	0,93	9,25
	T5 (3,0 × 3,5 m)	-8,2072	2,3760	-0,0231 ^{ns}	0,97	6,70
	T6 (3,0 × 4,0 m)	-8,4912	1,8522	0,5733	0,90	10,04

Em que: ^{ns}: coeficiente não significativo a 5% de significância.