



Modelagem da altura e volume de *Tectona grandis* L.F. na mesorregião Nordeste do Pará

Clebson Lima CERQUEIRA^{1*}, Gerson dos Santos LISBOA², Luciano Cavalcante de Jesus FRANÇA³, Rômulo MÔRA¹, Glaucio Marcelino MARQUES⁴, Thiago Taglialegra SALLES⁵, Daniel BRIANEZI⁶

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

² Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Jorge Amado, Itabuna, Bahia, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Pós-Doutorado, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

⁶ Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

* E-mail: clebson.mensuracao@gmail.com

Recebido em maio/2017; Aceito em julho/2017.

RESUMO: Objetivou-se avaliar o desempenho de modelos estatísticos para predição da altura e volume de *Tectona grandis* em povoamentos localizados no município de São Francisco, mesorregião Nordeste do estado do Pará. Os dados para o ajuste dos modelos hipsométricos e volumétricos foram obtidos por meio de inventário florestal e cubagem rigorosa em povoamentos de origem seminal com dez (10) anos de idade em espaçamento 3 x 2 m. Foram mensurados o diâmetro com casca a 1,3 m de altura (dap) e altura total (h) de 47 indivíduos para ajuste das equações hipsométricas. Para obtenção dos volumes observados e ajuste dos modelos volumétricos foram cubadas 140 árvores. As equações de Stoffels e Schumacher e Hall respectivamente. As equações de Stoffels e Schumacher-Hall são recomendadas para auxiliar nos inventários florestais e estimativa do volume de madeira em povoamentos de *Tectona Grandis* na mesorregião Nordeste do Pará e regiões semelhantes.

Palavras-chave: teca, inventário florestal, ajuste de equações.

Modeling of height and volume of *Tectona grandis* L.F. in the northeastern mesoregion of Pará, Brazil

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the performance of statistical models for the prediction of height and volume of *Tectona grandis* in stands located in the municipality of São Francisco, in the northeastern region of Pará state. The data for fit the hypsometric and volumetric models were obtained through a forest inventory and strict cubing in stands of seminal origin with ten (10) years old in spacing 3 x 2 m. (Dbh) and total height (h) of 45 individuals for fit the hypsometric equations. To obtain the observed volumes and fit of the volumetric models, 140 trees were cubed. The Stoffels and Schumacher-Hall equations are recommended to aid in forest inventories and wood volume estimation in *Tectona Grandis* stands in the northeastern meso-region of Pará.

Keywords: teak, forest inventory, fit of equations.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal Brasileiro tem contribuído de forma significativa para suprimento da demanda por produtos de origem florestal, o qual se tornou nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global. Segundo informações da indústria brasileira de árvores IBÁ (2016), no ano de 2015 o Brasil possuía uma área de 7,8 milhões de hectares ocupada por florestas plantadas. Dentre as espécies mais plantadas destacam-se os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, todavia, outras espécies têm sido introduzidas com sucesso, com destaque para a *Tectona grandis* Linn F. (teca), que tem se mostrado promissora nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil.

No Brasil, os primeiros plantios de teca foram realizados no final da década de 1960, na região de Cáceres, Mato Grosso Tsukamoto Filho et al. (2003), devido as características edafoclimáticas da região, indicadas para plantio da espécie. De acordo com as informações da (IBÁ,

2016), no país sua área plantada é de aproximadamente 87.410 ha, com crescimento anual de 1% em área plantada, principalmente nos estados de Mato Grosso e Pará.

Com a expansão dos projetos florestais, é fundamental o gerenciamento para aumento e otimização dos povoamentos florestais, sobretudo, quantificar e prognosticar, com confiabilidade o estoque de madeira. Desta forma, a quantificação do volume, pode subsidiar a tomada de decisões ligadas ao empreendimento florestal. Contudo, a dificuldade na determinação direta do volume se encontra na cubagem de seções, sobretudo do ponto de vista econômico. Assim, faz-se necessário a utilização de modelos estatísticos que permitam obter o volume sobre uma base de medições simples.

Um dos métodos utilizados na estimativa do volume é o emprego das equações volumétricas, em que o volume é uma variável dependente e o diâmetro a altura do peito (dap) e a

altura (Comercial, Total) são as variáveis independentes (ALMEIDA et al., 2016). Machado et al. (2002) acrescenta que é preciso testar diversos modelos e com suporte estatísticos, pode-se identificar o melhor para cada situação.

Quanto à altura, esta variável pode ser obtida por medição direta, com a árvore abatida ou em pé com o auxílio de régua graduada, ou de modo indireto, empregando hipsômetros ou clinômetros (MOTTA et al., 2016). Devido às limitações operacionais e econômicas em se medir todas as alturas, são empregadas as equações hipsométricas para estimativa das alturas nos inventários florestais (MENDONÇA et al., 2015).

Desta forma, diversos pesquisadores ajustaram e compararam funções matemáticas que expressem a produção em povoamentos de teca no Brasil (FIGUEIREDO, 2005, CRUZ et al., 2008, TONINI et al., 2009, VENDRUSCOLO et al., 2014, DRESCHER et al., 2014). Diversos estudos também têm sido realizados com o emprego de modelos de relação hipsométrica, destacando-se os trabalhos de (ROSSI et al., 2011, VENDRUSCOLO et al., 2015, MOTTA et al., 2016). Apesar de vários trabalhos desta natureza já terem sido desenvolvidos, surge a necessidade de testar e avaliar os ajustes para condições e regiões específicas, especialmente para a espécie ainda pouco estudada como a teca e com expansão dos povoamentos na região Norte do Brasil.

Dada a crescente expansão dos povoamentos florestais de teca no estado do Pará e sua importância para o suprimento de madeira para as indústrias de base florestal, Rossi et al. (2011) e Sanqueta et al. (2014), estudaram o crescimento de povoamentos desta espécie estabelecidos em diferentes regiões do Pará e concluíram que a mesma apresenta padrões de crescimento satisfatório e comparado a outras regiões produtoras do país e do mundo. No entanto, para avaliar a produção dos plantios florestais constantemente os gestores florestais tem buscado utilizar técnicas de modelagem para fornecer informações sobre a produção volumétrica, possibilitando o planejamento e gestão dos povoamentos.

Nesse contexto, com a escassez de trabalhos no tocante à relação hipsométrica e volumétrica de teca e sua importância para o sucesso da silvicultura e manejo florestal, tornam-se indispensável o desenvolvimento de pesquisas e técnicas de modelagem para aumento e otimização dos processos produtivos. Desta forma, objetivou-se, avaliar o desempenho dos modelos estatísticos lineares e não lineares para predição da altura e volume de *Tectona grandis* na mesorregião Nordeste do Pará, visando disponibilizar equações acuradas para estimativa de madeira de teca na região e auxiliar os manejadores frente a tomada de decisões.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido utilizando dados obtidos em povoamentos de *Tectona grandis* L.F., situados no município de São Francisco, na mesorregião Nordeste do estado do Pará, Brasil (Figura 1). O clima da região de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo tropical de monção, com pluviosidade anual variando de 2200 a 2800 mm por ano, e temperatura média de 25°C (ALVARES et al., 2013).

2.2 Base de dados

Os dados para ajuste dos modelos hipsométricos e volumétricos foram obtidos em parcelas retangulares de 600 m², por meio de amostragem sistemática em povoamentos de

dez anos, implantados com mudas seminais dispostas em campo em espaçamento 3x3 m.

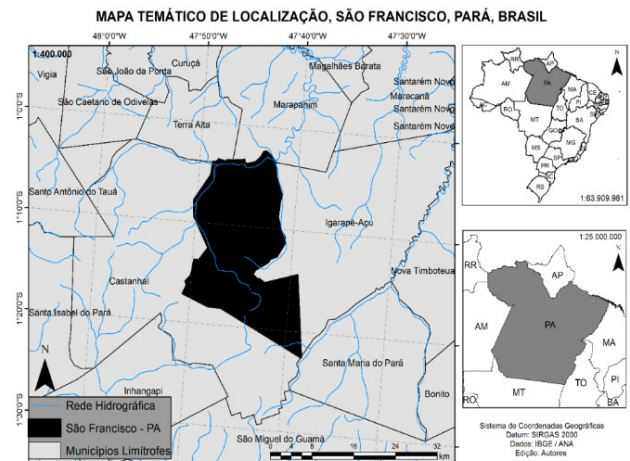


Figura 1. Mapa temático de localização da área de estudo, município de São Francisco, estado do Pará, Brasil.

Figure 1. Thematic map of location of the study area, municipality of São Francisco, state of Pará, Brazil.

As variáveis dendrométricas mensuradas foram o diâmetro com casca a 1,3 m de altura (dap) com fita métrica e altura total (H) com auxílio do hipsômetro Haglôf, em 45 indivíduos distribuídos em toda a amplitude diamétrica do povoamento. Esses dados foram utilizados para ajuste e avaliação de seis modelos estatísticos lineares e não lineares de relação hipsométrica, (Tabela 1).

Para obtenção dos volumes observados e posterior ajuste dos modelos volumétricos foram selecionadas e cubadas 140 árvores distribuídas em toda a amplitude diamétrica do povoamento. Foram mensurados os diâmetros com cascas nas alturas (h) absolutas 0,1; 0,3; 0,7 e 1,3 m, e as medidas seguintes obtidas em intervalos de 1,0 em 1,0 m, até um diâmetro mínimo considerado da altura total (H) de cada árvore. Os volumes observados foram obtidos pelo método de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Foram selecionados na literatura dez modelos estatísticos lineares e não lineares para estimativa dos volumes totais com casca das árvores selecionadas (Tabela 2).

Tabela 1. Modelos hipsométricos ajustados (modelos 1 à 6).

Table 1. Adjusted hypsometric models (models 1 to 6).

N	Denominação	Modelo
1	Logística	$h = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 dap}}$
2	Gompertz	$h = \beta_0 e^{-e^{-\beta_1 + \beta_2 dap}}$
3	Stoffels	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dap)$
4	Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap}$
5	Hiperbólico	$h = \beta_0 + \frac{\beta_1}{dap^2}$
6	Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2$

em que: N= número do modelo; ln = logaritmo natural; h = altura total (m); dap = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes.

Os modelos volumétricos e hipsométricos foram avaliados e selecionados com base nos seguintes critérios estatísticos de ajuste de precisão: coeficiente de determinação ajustado (R²aj.), erro padrão da estimativa em porcentagem

(Syx%), significância dos coeficientes de regressão (β) e análise gráfica dos resíduos (E%), calculados pelas equações, 1, 2 e 3.

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad \text{(Equação 1)}$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \therefore S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

$$E_{\%} = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

em que: Y_i = variável observada; \hat{Y}_i = variável estimada; \bar{Y} = média aritmética da variável; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo; SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos e SQ_{tot} = soma de quadrados total.

Os modelos estatísticos em escala logarítmica fornecem o logaritmo da variável dependente, portanto é necessário calcular o antilogaritmo para obter a estimativa da variável de interesse. Quando tal operação matemática é realizada, existe um erro chamado de discrepância logarítmica, que pode ser corrigido multiplicando a variável estimada pelo Fator de Correção de Meyer (FM). No caso do trabalho em questão os modelos hipsométricos de Stoffels e Curtis, bem como o volumétrico de Brenac utiliza o logaritmo natural, no entanto, em suas estimativas foi realizado tal procedimento pelo fator de correção de Meyer expresso pela (Equação 4).

$$FM = e^{0,5 * QM_{res}} \quad \text{(Equação 4)}$$

em que: e = Base do logaritmo natural (2,718281828...); QM_{res} = Quadrado médio dos resíduos.

Tabela 2. Modelos volumétricos ajustados (modelos 1 à 10).
Table 2. Adjusted volumetric models (models 1 to 10).

N	Autor	Modelo
1	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} H^{\beta_2}$
2	Husch	$V = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} + \epsilon$
3	Horenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 + \epsilon$
4	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 (\text{dap}^2 H) + \epsilon$
5	Takata	$V = \frac{\text{dap}^2 H}{\beta_0 + \beta_1 \text{dap}} + \epsilon$
6	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2 + \beta_2 \text{dap}^2 H + \beta_3 H + \epsilon$
7	Kopesky-Gehrhardt	$v = \beta_0 + \beta_2 \text{dap}^2 + \epsilon$
8	Naslund	$V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2 + \beta_2 (\text{dap}^2 H) + \beta_3 (\text{dap} H^2) + \beta_4 H^2 + \epsilon$
9	Meyer mod.	$V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 + \beta_3 (\text{dap} H) + \beta_4 (\text{dap}^2 H) + \epsilon$
10	Brenac	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{dap} + \beta_2 \frac{1}{\text{dap}} + \epsilon$

em que: N=número do modelo; ln = logaritmo natural; v = volume total (m³); H= altura total (m); dap = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 = parâmetros.

3. RESULTADOS

Os diâmetros do povoamento apresentaram amplitude de 6,3 a 28 cm, com média de 13,2 cm. As alturas apresentaram média de 10,2 m e amplitude de 7,8 a 19 m.

Os resultados referentes aos ajustes dos seis modelos de relação hipsométrica estão apresentados na Tabela 3. As equações hipsométricas 1, 3, 4 e 5 apresentaram coeficientes significativos, conforme o valor da estatística (t de Student), a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Já as equações 2 e 6 apresentaram resultados não significativos ($p \leq 0,05$) e não podem ser utilizados para estimativa das alturas do povoamento de *Tectona grandis*.

Tabela 3. Coeficientes e estatísticas dos modelos hipsométricos ajustados para Teca.
Table 3. Coefficients and statistics of hypsometric models adjusted for Teak

N	β_0	β_1	β_2	R ² aj.	Syx (%)
1	19,4040*	3,8279*	0,1183*	0,880	12,42
2	20,8899*	0,6507*	0,0806 ^{ns}	0,880	12,43
3	0,7088*	0,6457*		0,818	12,34
4	3,166*	-10,311*		0,816	12,41
5	16,6*	-925,9*		0,783	13,46
6	1,2930	0,8593*	-0,0105 ^{ns}	0,880	12,43

* significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo.

O coeficiente de determinação ajustado (R²aj.) para os modelos que apresentaram resultados significativos, variou

de 0,78 a 0,88, e erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%) variando entre 12,34% e 13,46%. As equações 1, 3 e 4, apresentaram resultados satisfatórios para estimativa da altura do povoamento de *Tectona grandis*. Dentre elas, a que obteve melhor acurácia no ajuste foi Stoffels, equação (3), apresentando o menor valor de Syx% (12,34%) e R²aj. (0,81), seguida da Logística (equação 1) e Curtis (equação 4).

Na Tabela 4, encontram-se os coeficientes e estatísticas de precisão referente aos dez modelos ajustados para estimativa do volume de *Tectona grandis*. Observou-se que seis dos dez modelos avaliados (1, 2, 4, 5, 6 e 7), apresentaram coeficientes significativos, conforme resultados do teste t de Student. Os modelos 3, 8, 9 e 10 apresentaram ajustes não significativos, e de acordo com Hair Júnior et al. (2005), não devem ser utilizados para estimativa do volume do povoamento de *Tectona grandis*.

Observa-se para os modelos que apresentaram resultados significativos pelo teste F, que os valores de coeficientes de determinação ajustados (R²aj.) variaram entre 0,74 e 0,95 e erro padrão da estimativa relativo (Syx) entre 10,26% e 14,49%. Dentre os modelos ajustados e aqueles que apresentaram ajustes significativos, as equações que apresentaram melhor acurácia de ajuste, foi Shumacher e Hall com menor valor de Syx% (10,26) e maior valor de R²aj. (0,96), seguido do modelo de Stoate com Syx% (10,61) e R²aj. (0,87).

Apesar das análises dos coeficientes e estatísticas de precisão fornecerem importantes subsídios para a escolha do modelo mais adequado, estes critérios de forma isolada não garantem uma conclusão satisfatória sobre o desempenho dos modelos (MIRANDA et al., 2014). Desta forma, para que ocorra melhor avaliação da qualidade dos ajustes, são necessárias análises mais criteriosas, que subsidiem a escolha do modelo mais adequado. Assim pode ser visualizado a distribuição dos resíduos das equações hipsométricas que obtiveram resultados significativos (Figura 3).

A distribuição gráfica dos resíduos apresentou-se semelhante para as quatro equações hipsométricas, sendo que todas apresentaram valores dispersos adequadamente em torno da média, sem a ocorrência de tendências em superestimar ou subestimar a variável *H* em função da

variável *dap*, com ênfase ao modelo de Stoffels, que dentre as quatro equações, apresentou-se como a mais acurada.

As curvas hipsométricas apresentaram comportamento esperado para tal relação, principalmente para o modelo de Stoffels, com crescimento linear em altura à medida que aumenta o diâmetro, (Figura 4).

Na distribuição gráfica dos resíduos para os modelos volumétricos, pode-se verificar que os resíduos estão bem distribuídos em torno da linha média, com menor dispersão ao longo da linha de regressão para o modelo de Stoate e Schumacher-Hall o mais acurado para estimar o volume por apresentar menor erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos homogênea, atendendo aos critérios estabelecidos para seleção de equações volumétrica (Figura 5).

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas dos modelos volumétricos ajustados para teca.

Table 4. Coefficients and statistics of volumetric models adjusted for teak.

N	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ² aj.	Syx (%)
1	0,0002*	1,7990*	0,7471*			0,980	10,26
2	0,0003*	2,2811*				0,911	14,23
3	-0,1328	0,0094	0,0006*			0,916	14,05
4	0,0289*	0,00005*				0,928	14,95
5	4,0220*	0,0072*				0,933	14,49
6	-0,2554*	0,0007*	-0,000007 ^{ns}	0,0226*		0,954	10,61
7	-0,0492*	0,0009*				0,916	14,0
8	-0,1928*	0,0004	0,00006 ^{ns}	-0,00001*	-0,0029*	0,961	10,26
9	0,4624*	-0,1450*	0,0045*	0,0052*	-0,0019*	0,971	10,16
10	-5,2828*	1,6443*	-15,3141 ^{ns}			0,910	14,50

* significativo (p ≤ 0,05).

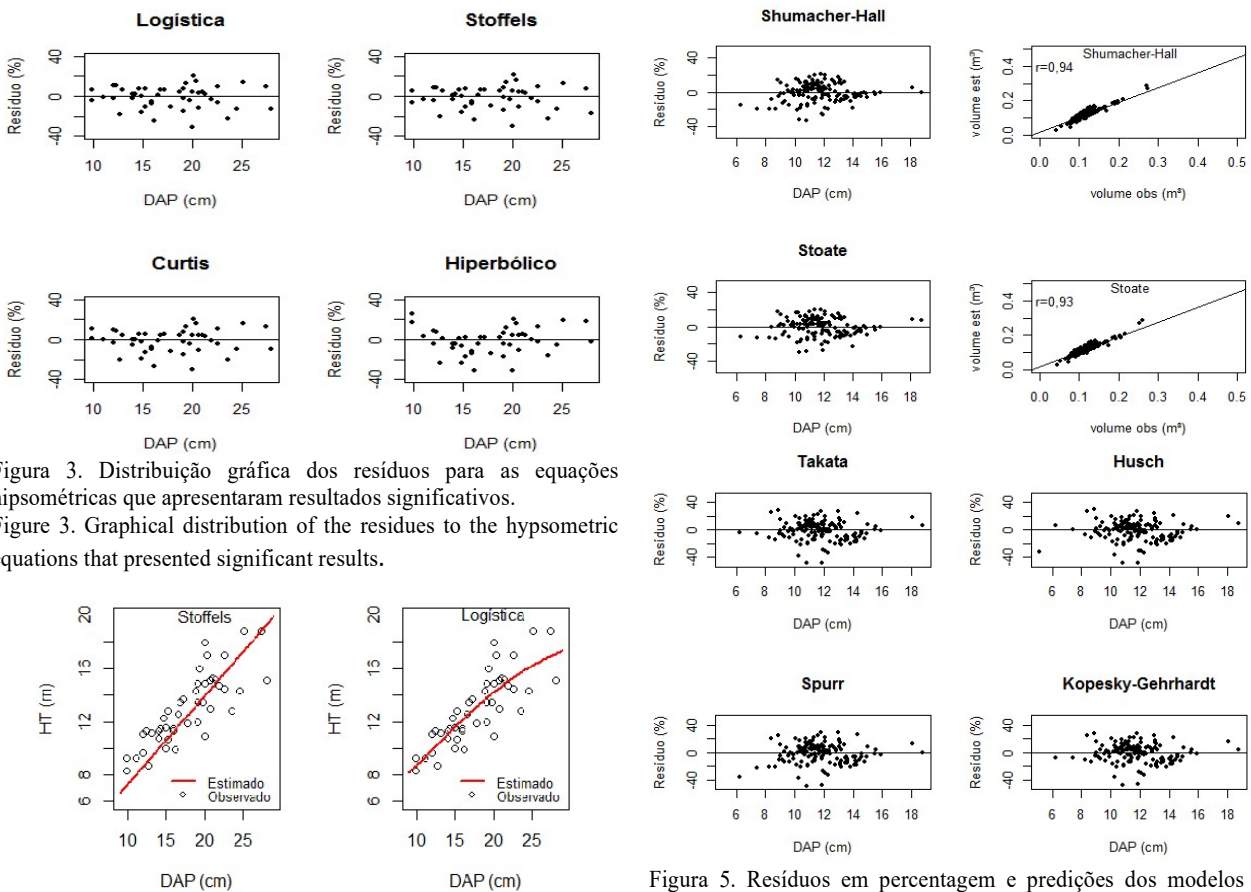


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos para as equações hipsométricas que apresentaram resultados significativos.

Figure 3. Graphical distribution of the residues to the hypsometric equations that presented significant results.

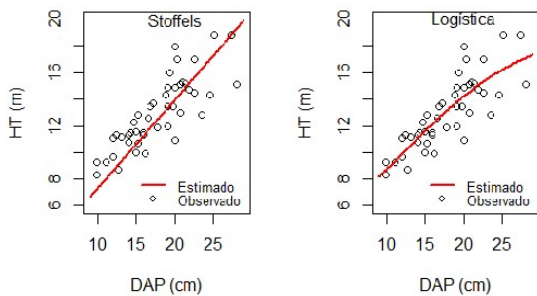


Figura 4. Curvas hipsométricas para os modelos de melhor desempenho para *Tectona grandis*.

Figure 4. Hypsometric curves for the best performance models for *Tectona grandis*.

Figura 5. Resíduos em porcentagem e previsões dos modelos de melhor desempenho.

Figure 5. Percentage residuals and predictions of the best performance models.

Além dos resíduos pode ser observado na figura 5, os gráficos de predições para os modelos de melhor desempenho, com uma alta correlação ($r=0,94$ e $r=0,93$), intercepto próximo a 0 e inclinação de 1, o que é desejável em análise de regressão (CAMPOS; LEITE, 2013).

4. DISCUSSÃO

O teste de significância dos parâmetros dos modelos quando apresenta resultados significativos indica que as equações podem explicar a variabilidade da variável dependente em função das variáveis independentes conforme mencionado por (SANQUETTA et al., 2014). Segundo Hair Júnior et al. (2005) o teste de significância dos coeficientes de regressão fornece a estimativa baseada na probabilidade de que os coeficientes obtidos em muitas amostras de um dado tamanho sejam de fato diferentes de zero. Assim, se não for estatisticamente significativo, a variável independente específica deve ser descartada e o modelo reavaliado ou não utilizado.

Na modelagem da altura os resultados de (R^2_{aj}) e ($S_{yx\%}$) foram razoavelmente satisfatórios e semelhantes aos encontrados por Sanquetta et al. (2015), para *Tectona grandis* no sudeste do estado do Pará. Superiores aos encontrados por Rossi et al. (2011), em estudo sobre relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* no município de Monte Dourado, Pará. E inferiores aos resultados obtidos por Motta et al. (2016), em estudo sobre a modelagem da altura de *Tectona grandis* no estado do Mato Grosso.

Baseado nas estatísticas de ajuste e análise gráfica dos resíduos, dentre as equações hipsométricas ajustadas a que obteve melhor acurácia de ajuste foi Stoffels, Logística e Curtis. Koehler et al. (2010) destacaram a eficiência do modelo de Stoffels para estimativa da altura de *Araucaria angustifolia* no estado do Paraná, Araújo et al. (2012) para *Eremanthus erythropappus* em Minas Gerais e Motta et al. (2016) observaram ótimos resultados com o modelo Stoffels e Curtis para estimativa da altura de povoamentos de *Tectona grandis* em Mato Grosso. O modelo de Curtis também se apresentou como um dos mais acurados em estudo desenvolvido por Oliveira et al (2011) para *Eucalyptus* ssp. no município de Eunápolis - BA, e Vendruscolo et al. (2015) para *Tectona grandis* no estado de Mato Grosso.

Analisando-se os modelos que apresentaram os melhores desempenhos, observa-se que os lineares geraram estatísticas superiores em relação aos não lineares. Isso pode ser explicado devido ao povoamento está em fase de crescimento, apresentando assim, crescimento linear. Os modelos não lineares ajustados para povoamentos com idades mais avançadas, cujo crescimento em altura esteja próximo à estabilização, geram resultados mais acurados em relação aos modelos lineares, devido a fundamentação biológica desses modelos e maior flexibilidade (MOTTA et al., 2016).

Observa-se que os modelos de dupla entrada com as variáveis independentes H e dap apresentaram estatísticas de ajuste superior quando comparado aos modelos de simples entrada. Resultados semelhantes com emprego de equações de volume para *Tectona grandis* foram observados por Drescher et al. (2014), Vendruscolo et al. (2014) e para o gênero eucalipto por Miguel et al. (2012) e Schröder et al. (2013).

Dentre as equações de volume ajustadas as que obtiveram maior acurácia de ajuste, foi Schumacher e Hall e Stoate. Vários estudos relatam a eficiência do modelo de Schumacher

e Hall, e afirma ainda que esse modelo é um dos mais difundidos no meio florestal para expressar o volume de madeira em função do diâmetro e da altura total ou comercial, uma vez que resulta em estimativas acuradas (LEITE; ANDRADE, 2003; CRUZ et al., 2008; CAMPOS; LEITE, 2013).

Outros autores, em estudos realizados com o emprego de modelos volumétricos para *Tectona grandis* também obtiveram bons resultados e recomendaram o modelo de Schumacher-Hall, Tonini et al. (2009) no Município de Iracema, estado de Roraima; Vendruscolo et al. (2014), na Região de Cáceres, MT; Drescher et al. (2014), em Santo Antônio do Leverger e Brasnorte, no Estado de Mato Grosso e Almeida et al. (2016) em Alta Floresta, MT.

5. CONCLUSÕES

As equações hipsométricas e volumétricas de Stoffels e Schumacher-Hall respectivamente, apresentaram maior acurácia de ajuste e são recomendadas para auxiliar nos inventários florestais e estimativa do volume de madeira em povoamentos de *Tectona Grandis* na mesorregião Nordeste do Pará e regiões semelhantes.

6. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift (Berlin)**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALMEIDA, D. L. C. S.; SILVA, F. R.; SANTOS, A. F. A.; GARCIA, M. L.; WOJCIECHOWSKI, J. C. Determinação de equação volumétrica e hipsométrica para um plantio de *Tectona grandis* L. f. em Alta Floresta, MT. **Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 2, p. 1-9, 2016.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 257-268, jul/set. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.257>
- CRUZ, J. P.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32 n. 4, p. 679-685, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000400009>
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 548p.
- DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; MORAIS E SILVA, V. S. 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.
- FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de modelos pelo método da curva média para a construção de curvas de índices de sítio para Tectona grandis L.f.** Rio Branco: Embrapa Acre. 2005. 49p.

- HAIR JÚNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 597p.
- IBA - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2016: Ano Base 2015**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 28/12/2016.
- KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; PELLICO NETTO, S. Crescimento, tendência de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 301-310. 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000300005>.
- MACHADO, A. S.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A. A modelagem do volume individual para idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciencias Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 41-50, 2002.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO-FILHO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2006.
- MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 107-115. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521011191>.
- MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A. Seleção de equações volumétricas para a predição do volume total de *eucalyptus urophylla* S. T. Blake na região norte do estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v. 8, n. 14, p. 1372-1386, 2012.
- MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; TUCKER, J. M.; FORSBERG, M. C. S.; FALESI, I.; MCCRACKEN, S. D. Strategies for Amazonian forest restoration: evidence for afforestation in five regions of the Brazilian Amazon. In: Hall, A. (Ed.). **Amazônia at the Crossroads: the challenge of sustainable development**. Institute for Latin American Studies - University of London, London. p.129-149, 2000.
- MOTTA, A. S.; ALMEIDA, E. J.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; MEDEIROS, R. A.; SILVA, R. S. Modelagem da Altura de *Tectona grandis* L.f Clonal e Seminal. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 3, p. 395-406, 2016.
- MIRANDA, D. L. C.; PARO B. A. V.; COSTA, G. R. Estimativa do Volume em Árvores de *Hymenaea coubaril* L. e *Trattinnickia burserifolia* Mart. no Norte de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 4, p. 119-123, 2014. DOI: 10.14583/2318-7670.v02n04a06.
- OLIVEIRA, F. G. R.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v. 7, n. 13, p. 331-338. 2011.
- ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, Pará. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 301-307. 2011.
- SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; MOGNON, F.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; MAAS G. C. B. Ajuste de equações hipsométricas para a estimação da altura total de indivíduos jovens de teca. **Científica**, Jaboticabal, v. 43, n. 4, p. 400-406, 2015.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; RUZA, M. S.; SIMON, A. A.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Relação hipsométrica em inventários pré-corte em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 80-90. 2014.
- SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON F.; BEHLING, A. Incremento diamétrico e percentuais de cerne e de casca em povoamentos de *Tectona grandis* L.f. no sudoeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1946-1954, 2014.
- SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N. A. S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; PEREIRA, L. D.; JUNIOR, D. S. R.; MEYER, E. A.; FLEIG, F. D. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 1-7, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.446>
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G. C.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 59, n. 1, p. 05-14, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2009.pfb.59.05>.
- TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SILVA, M. L.; COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 487-494. 2003.
- 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.
- VENDRUSCOLO, D. G. S.; CHAVES, A. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; MEDEIROS, R. A.; MOTTA, A. S.; SILVA, F. T. Identidade em Modelos Hipsométricos para *Tectona grandis* com Diferentes Espaçamentos em Cáceres-MT. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 44-49, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a07>.