



COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME PARA UM POVOAMENTO DE *Tectona grandis* L. f. NO ESTADO DO PARÁ

Taissa Nery Ferreira¹, Lucas Viana Vieira da Silva¹, Anna Márcia da Silva Dias¹, Yuri da Silva Cardoso¹, Camila Mainardi da Mata¹, Giovana Samara da Silva Seabra¹, Rodrigo Geroni Mendes Nascimento¹, Fabiano Emmert¹

1 Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil. E-mail: taissanery5@gmail.com; lucasvianasilva18@gmail.com; annadias715@gmail.com; yuricardoso.yc78@gmail.com; camilamainardi1@gmail.com; Rennanlobato@gmail.com; giovanaseabra88@gmail.com; rodrigo.geroni@ufra.edu.br; fabiano.emmert@ufra.edu.br

Autora correspondente: Taissa Nery Ferreira. E-mail: taissanery5@gmail.com.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi testar três equações volumétricas que expressem o volume em função do diâmetro a 1,30m do solo e altura total para dados de volume com casca, e assim, selecionar o melhor modelo com melhor ajuste e precisão para o povoamento de *Tectona grandis* L. (Teca) no estado do Pará. A coleta de dados foi realizada em um plantio de Teca na fazenda Ovelha Negra, localizada no município de Santa Izabel-PA. Ao todo foram cubadas 60 árvores divididas em 30 parcelas, realizou-se uma cubagem não destrutiva com a utilização do Criterion RD1000, os volumes foram calculados com base no método proposto por Smalian. Para a escolha da melhor equação foram avaliados o maior Coeficiente de Determinação Ajustado e o menor Erro Padrão da Estimativa. Sendo a função de Meyer com o melhor desempenho.

Palavras-chave: CriterionRD1000; cubagem não destrutiva; modelagem volumétrica; plantios florestais

COMPARISON OF VOLUME EQUATIONS FOR A STAND OF *Tectona grandis* L.f. IN THE STATE OF PARÁ, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of the present work was to test three volumetric equations that express volume as a function of diameter at 1.30 m from the ground and total height for volume data with bark and, thus select the best model with the best fit and accuracy for the population of *Tectona grandis* L. (Teca) in the state of Pará. Data collection was carried out in a Teak plantation on the Ovelha Negra farm, located in the municipality of Santa Izabel/PA. In all, 60 trees divided into 30 plots were cubed, a non-destructive cubing was performed using the Criterion RD1000, the volumes were calculated based on the method proposed by Smalian. To choose the best model, the highest Adjusted Determination Coefficient and the lowest Standard Error of Estimation were evaluated. Being the Meyer function with the best performance.

Key words: CriterionRD1000; non-destructive cubing; volumetric modeling; forest plantations

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

O conhecimento do volume desempenha um papel crucial na compreensão do potencial existente em uma área florestal, pois as informações sobre o volume individual oferecem uma base para a avaliação dos estoques de madeira e a análise da capacidade produtiva das florestas (Thomas *et al.*, 2006). Neste sentido, muitos modelos volumétricos são desenvolvidos e ajustados para estimar os volumes de um povoamento florestal, mas nem sempre se ajustam da melhor forma para todas as espécies e condições, sendo necessário testá-los por meio de regressão e após isto, identificar o melhor modelo adequado (Machado & Figueiredo Filho, 2014).

Por ser uma das espécies mais valorizadas do mundo, o cultivo de *Tectona grandis* L. em áreas plantadas, vem ganhando cada vez mais espaço, a importância da madeira reside em suas propriedades físicas e mecânicas, que proporcionam alta qualidade, maior durabilidade e resistência natural a organismos xilófagos, além dos aspectos estéticos desejáveis na indústria, como desenho, cor e densidade (Oliveira *et al.*, 2022).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo testar três modelos volumétricos que expressem o volume em função do diâmetro à altura do peito e altura para dados de volume com casca, e assim, selecionar o melhor modelo com melhor ajuste e precisão para o povoamento de *Tectona grandis* L. no estado do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local

A coleta de dados foi realizada em um povoamento de *Tectona grandis* L. f. (Teca) da fazenda ovelha negra, localizada no município de Santa Izabel/PA, com coordenadas geográficas de 48°27'47.02"L - 54°32'16.62"S (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização da fazenda Ovelha Negra em Santa Izabel do Pará

Coleta de dados

Para a cubagem rigorosa em pé das árvores do plantio, obedeceu-se a um critério de escolha de duas árvores que estavam orientadas a esquerda do piquete central. Nas 30 parcelas circulares,

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

a cubagem foi realizada em 60 árvores com auxílio do Criterion RD1000. Foi obedecido uma distância de 10 metros para as leituras dos diâmetros de cada indivíduo: 0,10 m; 0,70; 1,30 m; e de dois em dois metros até a altura comercial do fuste, obtendo-se o volume total individual pelo método de Smalian.

Modelos volumétricos

A partir do banco de dados advindo da cubagem rigorosa em pé de cada indivíduo pelo método de Smalian, contendo diâmetro a 1,30m do solo (D), altura total (H), diâmetro em diferentes alturas (d_i) e altura ao longo do fuste (h_i), os modelos volumétricos foram ajustados para o grupo de árvores do povoamento florestal para a finalidade de obter as estimativas de diâmetro e volume em qualquer seção do tronco. Os modelos descritos para os ajustes estão apresentados na (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos volumétricos para estimar o volume total de árvore individuais de Teca

| Nº | Autor | Modelo |
|----|------------------|---|
| 1 | Meyer Modificada | $V_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 D_i^2 + \beta_3 (D \cdot H)_i + \beta_4 (D^2 H)_i + \varepsilon_i$ |
| 2 | Spurr | $V_i = \beta_0 + \beta_1 (D^2 H)_i + \varepsilon_i$ |
| 3 | Stoate | $V_i = \beta_0 + \beta_1 (D^2 H_i) + \beta_3 H_i + \varepsilon_i$ |

Em que: H_i = altura total (m); D_i = diâmetro medido a 1,30 m de altura do solo (cm); V_i = volume individual; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parâmetros a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

Critério de seleção dos modelos

Para a seleção do melhor modelo foram usadas as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) (Equação 1), erro padrão de estimativa ($S_{yx}\%$) (Equação 2) e o gráfico de resíduos (Res) (Equação 3).

$$R^2_{ajust} = 1 - \left\{ \left[1 - \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \right] \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right\} \quad (1)$$

$$S_{yx}\% = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-p}} \frac{100}{\bar{y}} \quad (2)$$

$$Res (\%) = \frac{y_i - \bar{y}}{y_i} 100 \quad (3)$$

Em que: R^2 ajust = coeficiente de determinação ajustado; y_i = altura observada (m); \bar{y} = altura estimada (m); \bar{y} = média dos valores observados (m); n = número de árvores observadas; p = número de coeficientes de cada modelo; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa relativo; Res (%) resíduos em porcentagem

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, encontram-se os resultados dos coeficientes estimados e estatísticas de precisão para os modelos volumétricos testados e pode-se observar que o modelo de Meyer (modelo 1) apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust), de 71,84% e menor erro padrão relativo de 29,50%.

Esse resultado é diferente dos encontrados nos estudos de Moret *et al.* (1998) e Bermejo *et al.* (2004), os quais aplicam equações de volume para plantios de teca na Venezuela e na Costa Rica, no entanto, encontram a equação proposta por Spurr, como a mais adequada para as estimativas. Já Passos *et al.* (2006) ao aplicar equações de volume para plantios de teca, no estado do Mato

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Grosso, encontram o modelo de Schumacher – Hall linearizado como a equação de melhor desempenho, evidenciando a necessidade de aplicação de outros métodos, além das regressões lineares, para estimativas de volume da *Tectona grandis* L. f. (Teca), como a utilização de modelos linearizados, regressão não linear e redes neurais, por exemplo.

Tabela 2. Coeficientes estimados (b_i), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) para os modelos volumétricos testados para o plantio de Teca em Santa Izabel/PA

| Modelo | Coeficientes | | | | | Critério Estatístico | |
|--------|--------------|--------|---------|---------|--------|----------------------|--------------|
| | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | R^2 (%) | S_{yx} (%) |
| 1 | -0,1940 | 0,0421 | -0,0010 | -0,0010 | 0,0001 | 71,84 | 29,50 |
| 2 | 0,0765 | 0,0000 | - | - | - | 46,54 | 40,64 |
| 3 | -0,0227 | 0,0003 | 0,0000 | 0,0075 | - | 47,24 | 40,38 |

Além dos bons valores nas medidas de precisão é muito importante para a aplicação das funções preditoras de volume, a quantidade de variáveis preditoras. Visto que quanto mais variáveis dendrométricas o modelo envolve, maior a demanda de coleta das informações em campo e conseqüentemente, o inventário florestal se torna mais oneroso. Algo que deve ser considerado ao se utilizar o modelo de Meyer, é que apesar dos bons valores nas medidas de precisão, que evidenciam a capacidade do consorcio altura e diâmetro à altura do peito na explicação do volume, é fundamental que as coletas de altura e do D das árvores sejam bem executadas, a fim de obter informações mais acuradas.

O modelo de Meyer Modificada, na análise gráfica de resíduos, apresenta uma distribuição mais uniforme em relação aos modelos de Spurr e de Stoate. Assim, os resíduos de Meyer seguem uma distribuição normal mais próxima do ideal, ou seja, indica que o modelo se ajusta melhor aos dados. Além de não apresentar padrões ou tendências sistemáticas, indicando que o modelo captura adequadamente a relação entre as variáveis dependentes e independentes (Figura 2).

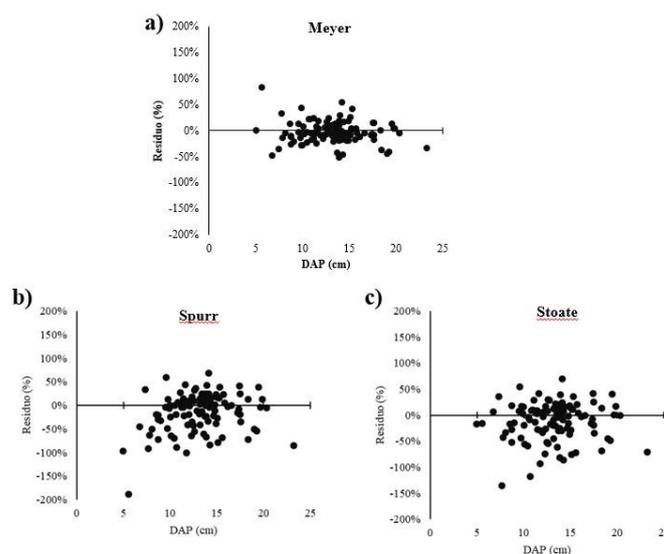


Figura 2. Distribuição residual dos modelos volumétricos de a) Meyer Modificada, b) Spurr e C) Stoate

CONCLUSÃO

Após o ajuste dos três modelos: Meyer Modificada, Spurr e Stoate. A equação de Meyer foi a que apresentou as melhores medidas de precisão, o maior Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}) e o menor Erro Padrão da Estimativa ($S_{yx}\%$) e é a indicada para a utilização em plantios de *Tectona grandis* L. f. (Teca) no estado do Pará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermejo, I.; Cañellas, I.; Miguel, A. S. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 97-110, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.031>.
- Moret, A. Y.; Jerez, M.; Moura, A. Determinación de ecuaciones de volumen para plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) en la unidad experimental de la reserva forestal Caparo, Estado Barinas – Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, v. 42, n.1, p.41-51, 1998. Disponível em: http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24242/articulo42_1_5.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Machado, S.B.; Figueiredo Filho, A. **Dendrometria**. Curitiba: Os Autores, 2014. 316p.
- Oliveira, P. P. G.; Oliveira Filho, P. C.; Guimarães, F. A. R.; Figueiredo Filho, A. F.; Oliveira E.B. Simulação da produção por sortimento de madeira em povoamentos de *Tectona grandis* L. na região norte do estado do Mato Grosso. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 2263-2287, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509867978>.
- Passos, C. A. M.; Bufulin Júnior, L.; Gonçalves, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L. f., em Cáceres-MT, Brasil: resultados preliminares. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006. <https://doi.org/10.5902/198050981901>.
- Thomas, C.; Andrade, M. C.; 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. <https://doi.org/10.5902/198050981911>.