



COMPARAÇÃO DO AJUSTE DOS MODELOS DE AFILAMENTO DE KOZAK E SCHÖEPFER EM UM PLANTIO DE *Tectona grandis* L.F NO MUNICÍPIO DE SANTA IZABEL, PARÁ

Yuri da Silva Cardoso¹, Rodrigo Geroni Mendes Nascimento¹, Fabiano Emmert¹, Lucas Viana Vieira da Silva¹, Taissa Nery Ferreira¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil. E-mail: yuricardoso.yc78@gmail.com; Geronimendes@gmail.com; fabiano.emmert@edu.ufra.br; lucasvianasilva18@gmail.com; Taissanery5@gmail.com
Autora correspondente: Yuri da Silva Cardoso. E-mail: yuricardoso.yc78@gmail.com.

RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se analisar diferentes modelos de afilamento e assim fazer a comparação dos ajustes com os modelos de Kozak (1969) e Schöpfer (1966), em uma área de floresta plantada com *Tectona grandis* (popularmente conhecida como Teca) no município de Santa Izabel/PA. O estudo foi feito em 30 parcelas em formatos circulares de 500 m², as variáveis dendrométricas mensuradas foram: diâmetro a 1,30m do solo (D), altura total (H) e diâmetros ao longo do fuste conforme o demandado pelo método de Smalian. Em cada árvore os diâmetros foram mensurados de forma indireta com o dendrômetro Criterion RD 1000, foi realizado o cálculo da cubagem rigorosa e assim aplicados nos modelos citados. Para método de análise do melhor modelo foram usadas as seguintes estatísticas de ajuste e precisão por ordem de hierarquização: análise do erro padrão da estimativa (S_{yx} e $S_{yx}\%$) e análise do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Com isso foi determinada equações para estimativa dos diferentes diâmetros ao longo do fuste, a equação do polinômio do 5º grau proposto por Schöpfer foi selecionado devido a superioridade de seus resultados.

Palavra-chave: Afilamento; Criterion; cubagem não destrutiva

COMPARISON OF THE FIT OF KOZAK AND SCHÖEPFER TAPER MODELS IN A *Tectona grandis* L.F PLANTATION IN THE MUNICIPALITY OF SANTA IZABEL, PARÁ, BRAZIL

ABSTRACT

This study aimed to analyze different taper models and compare their adjustments with the models proposed by Kozak (1969) and Schöpfer (1966) in a planted forest area of *Tectona grandis* (commonly known as Teak) in the municipality of Santa Izabel/PA, Brazil. The study was conducted in 30 circular plots of 500 m² each, and the measured dendrometric variables included diameter at 1,30m from the ground (D), total height (H), and diameters along the stem according to the Smalian method. The diameters of each tree were indirectly measured using the Criterion RD 1000 dendrometer, and rigorous volume calculations were performed and applied to the mentioned models. The following fit and precision statistics were used to analyze the best model: standard error of estimate (S_{yx} and $S_{yx}\%$) and adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}). Consequently, equations were determined to estimate the different stem diameters, and the 5th-degree polynomial equation proposed by Schöpfer was selected due to its superior results.

Key words: taper; Criterion; non-destructive volume estimation

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

A Teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie que foi incorporada do oriente, e atualmente é cultivada em vários países, inclusive no Brasil e a multiplicidade de usos e a beleza tornam esta madeira uma excelente escolha (Oliveira *et al.*, 2007). A espécie é uma das madeiras tropicais mais valiosas, de excelente qualidade e altamente valorizada pela sua resistência, durabilidade (Cardoso *et al.*, 2009).

O procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura (Machado *et al.*, 2002). Para se obter o volume de maneira mais precisa foram desenvolvidos modelos matemáticos que permitem descrever com precisão a forma do tronco, assim obtendo também o volume a qualquer altura do fuste, são chamados de modelo de funções de afilamento (Môra *et al.*, 2014). Além de ser um método de mensuração que não necessita da derrubada de árvores.

A principal vantagem das estimativas por esse sistema sobre os "modelos de afilamento segmentados" é que são geralmente muito mais fáceis de ajustar e fornecem melhores estimativas de diâmetro do solo até o topo da árvore (Kozak, 2004). Além disto, a função de afilamento oferece a possibilidade de compreender a estrutura interna da árvore, permitindo a identificação de seções com diferentes densidades de madeira ou áreas com possíveis defeitos estruturais (Môra *et al.*, 2014).

O objetivo deste trabalho foi ajustar e analisar as funções de afilamento propostas por Kozak *et al.* (1969) e Schöepfer (1966), e, por conseguinte, comparar qual dos dois modelos melhor descreve o perfil do fuste de *Tectona grandis* L.f. e assim determinar a melhor função de afilamento para uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com os dados coletados em uma área de plantio de teca da fazenda Ovelha Negra localizada em Santa Izabel/PA. Foi feita a demarcação de trinta parcelas circulares e as duas árvores centrais foram selecionadas, totalizando 60 árvores amostradas. O cálculo do volume total estimado de cada árvore em pé foi obtido com o dendrômetro Criterion RD 1000®.

Com o dendrômetro ótico Criterion® a cubagem das árvores em pé foi realizada medindo-se os diâmetros a 0,10 m; 0,70 m; 1,30 m; e de 2 em 2 metro até o ápice das árvores, obtendo-se o volume total individual pelo método de Smalian.

Para a determinação dos sortimentos foram testados os modelos de formas de tronco (Modelos 1 e 2.

Polinômio de 2º grau ou modelo de Kozak *et al.* (1969)

$$\frac{d_i}{D} = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que: D = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); d_i = diâmetro do fuste medido a uma altura h_i (cm); h_i = altura medida ao longo do fuste (m); H = altura total (m); β_j = parâmetros dos modelos a serem estimados ($j = 0, 1, 2$); ε_i = erro aleatório.

Polinômio de 5º grau ou modelo de Schöpfer (1966)

$$\frac{d_{ij}}{D} = \beta_0 + \beta_1 \cdot T_{ij} + \beta_2 \cdot T_{ij}^2 + \beta_3 \cdot T_{ij}^3 + \beta_4 \cdot T_{ij}^4 + \beta_5 \cdot T_{ij}^5 + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Em que: d_i = diâmetro na altura h_i (cm); D = diâmetro tomado a 1,30 m do solo; H = altura total da árvore (m); h_i = altura ao longo do fuste da árvore (m) nas quais foram medidos os diâmetros d_i ; β_j = parâmetros a serem estimados ($j = 0, 1, 2, 3, 4, 5$); $T_{ij} = (h_{ij}/H)$; ε_{ij} = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de Kozak *et al.* (1969) e de Schöpfer (1966) foram ajustados se obtendo os coeficientes da Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes das equações ajustadas

Modelo	Coeficientes					
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Schöpfer (1966)	1,38736	-6,718	34,6829	-83,647	89,3711	-35,076
Kozak <i>et al.</i> (1969)	1,20726	-0,9793	-0,2094			

O modelo de Kozak apesar de mostrar valores aceitáveis (Tabela 2), foi o ajuste com piores resultados de R^2_{aj} e $S_{yx}\%$, tendo os valores de R^2_{aj} a 90,20% e $S_{yx}\%$ de 14,86. O modelo Schöpfer (1966), apresentou valores do coeficiente de determinação (R^2_{aj}) e erro padrão residual percentual ($S_{yx}\%$) aceitáveis, foi o modelo que apresentou o melhor resultado com R_{aj} de 94,28% e $S_{yx}\%$ de 11,42%. Sendo assim, o modelo de Schöpfer (1966) descreve melhor o perfil do fuste de *Tectona grandis* L.f. na fazenda em questão no estudo.

Tabela 2. Estatísticas de ajuste e precisão das equações ajustadas

Modelo	Coeficientes	
	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
Schöpfer (1966)	94,28	11,42
Kozak <i>et al.</i> (1969)	90,25	14,86

Estas estatísticas permitem verificar se os modelos apresentaram ajustes satisfatórios, de maneira geral. Assim, como o modelo de Favalessa *et al.* (2012), usando também os dados de *Tectona grandis*, foi verificado que o modelo de equação de quinto grau ajustada, permitiu estimativas mais precisas do volume ao decorrer do fuste, sobressaindo-se com vantagem a maior simplicidade de uso e aplicação.

Outros estudos, como o de Schmidt *et al.* (2017), constataram que o modelo de Schöpfer também mostrou superioridade em relação a Kozak para os ajustes em razão d_i/D , o modelo de Kozak apresentou piores ajustes para tais variáveis, apresentando-se como tendencioso na estimativa do diâmetro em função do D e o volume em determinadas porções do fuste, reduzindo a capacidade do modelo de descrever o afilamento ao longo de todo o fuste das árvores.

CONCLUSÃO

Apesar de os dois modelos apresentaram bom rendimento, o modelo de Schöepfer (1966) se mostrou o mais adequado quando comparado ao modelo de Kozak *et al.* (1969) para estimativa de volume ao longo do fuste, sendo assim mais indicado para uso em plantios de *Tectona grandis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, S.; Sousa, V.; Quilhó, T.; Pereira, H. Variabilidade anatômica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste. In: Congresso Florestal Nacional, 6., 2009, Ponta Delgada. **Anais...** Ponta Delgada: SPCF, 2009. p.536-543. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/1713>. Acesso em: 07 Jul. 2023.
- Favalessa, C. M. C.; Ubialli, J. A.; Caldeira, S. F.; Drescher, R.; Cándano Acosta, F. Equações de sortimentos para *Tectona grandis* na região centro-sul de Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 389-389, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.389>.
- Kozak, A.; Munro, D. D.; Smith, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969. <https://doi.org/10.5558/tfc45278-4>.
- Kozak, A. My last words on taper equations. **Forestry Chronicle**, v. 80, n. 4, p.507-515, 2004. <https://doi.org/10.5558/tfc80507-4>.
- Machado, S. A.; Conceição, M. B.; Figueiredo, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 185-197, 2002. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/462/617>. Acesso em: 02 Jul. 2023.
- Môra, R.; Silva, G. F.; Gonçalves, F. G.; Soares, C. P. B.; Chichorro, J. F.; Curto, R. A. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p.237-249, 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap08.pdf>. Acesso em: 02 Jul. 2023.
- Oliveira, L. C.; Angeli, A.; Stape, J. L. Teca é nova opção na indústria mundial. **Revista da Madeira**, n. 106, 2007. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1114&subject=Teca&title=Teca. Acesso em: 10 Jul. 2023.
- Schmidt, L. N.; Machado, S. A.; Pelissari, A. L.; Silva, G. F.; Sanquetta, M. N. I. Modelagem do perfil e do volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. no estado do Pará. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p.325-334, 2017. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2017a32.
- Schöepfer, W. **Automatisierung des massen, sorten und wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad**. Berlin: Wurt-Forstl, 1966. n.p.