






ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA ESTIMATIVA DE VOLUME EM UMA ÁREA DE VÁRZEA NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO

Daniel Silva Lins¹, Rodrigo Galvão Teixeira Souza¹, Verena Holanda Costa¹,
Jadson Coelho Abreu¹, Robson Borges Lima¹

¹ Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: daniellins.ueap@gmail.com; rodrigossouza55@hotmail.com; verena.holanda13@gmail.com; jadson.abreu@ueap.edu.br; robson.lima@ueap.edu.br
Autor correspondente: Daniel Silva Lins. E-mail: daniellins.ueap@gmail.com.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi aplicar métodos diferentes para se estimar volume em um povoamento florestal no estuário amazônico, onde foi o volume estimado por modelos de volume e funções de afilamento para saber qual método tem o maior poder de precisão e acurácia em suas respectivas estimativas. Os dados foram coletados por meio de um inventário florestal permanente em uma área de várzea no estuário amazônico, distrito de Itatupã, Gurupá-PA. Os dados foram ajustados por cinco modelos de volume e quatro funções de afilamento. Para selecionar o melhor ajuste foram usados os seguintes critérios estatísticos: critérios de informações Akaike (AIC), raiz quadrada do erro médio (RQEM), Bias, correlação (r_{yy}) e o erro absoluto mediano (MDAE). Desta forma, por meio das análises se indicou o melhor método para estimar volume da base de dados do estuário amazônico foi o modelo de Schumacher e Hall que apresentou uma menor influência de Bias, um erro médio inferior aos outros métodos e uma boa correlação.

Palavras-chave: Mensuração florestal; modelagem; Schumacher e Hall

PERFORMANCE ANALYSIS OF VOLUMETRIC MODELS AND THINNING FUNCTIONS FOR VOLUME ESTIMATION IN A FLOODPLAIN AREA IN THE AMAZONIAN ESTUARY, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this study was to apply different methods to estimate volume in a forest stand in the Amazon estuary, where the volume was estimated by models of volume and taper functions to know which method has the greatest power of precision and accuracy in their respective estimates. Data were collected through a permanent forest inventory in a floodplain area in the Amazon estuary, Itatupã district, Gurupá-PA, Brazil. The data were adjusted by five volume models and four taper functions. To select the best fit, the following statistical criteria were used: Akaike information criteria (AIC), square root of the mean error (RQEM), Bias, correlation (r_{yy}) and median absolute error (MDAE). Thus, through the analyses best method to estimate the volume of the database of the Amazon estuary was the Schumacher and Hall model that presented a lower Bias influence, a lower mean error than the other methods and a good correlation.

Key words: Forest measurement; modelling; Schumacher and Hall

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

As áreas da região amazônica possuem extensões que abrangem vários biomas e fornecem diversidade para a sustentação das mais variadas espécies florestais, sua diversidade e riqueza de recursos possibilita o aproveitamento comercial de forma sustentável, seja com o comércio madeireiro ou comercializando produtos e subprodutos não madeireiros. Para isto, os inventários florestais são de suma importância para a caracterização de área e a compreensão da dinâmica do local, principalmente quando se trata da complexidade das florestas de várzea no estuário amazônico (Santos *et al.*, 2017). A necessidade da quantificação do estoque madeireiro para maior rendimento na produção e manejo adequado, demanda de ferramentas que possibilitem estimativas mais precisas no volume total e comercial de uma árvore, avaliando o potencial da área e planejando sua extração de forma sustentável.

As equações volumétricas são utilizadas para estimativa do volume, por sua precisão e facilidade no uso, podendo ser aplicada em diversos biomas, iniciado pelo procedimento de cubagem de um número especificado de árvores para estimar seu volume por equações de regressão que são estimados em função das variáveis dendrométricas. Para Farias *et al.* (2019) o uso das equações volumétricas no procedimento de estimação do quantitativo florestal se constitui do método mais eficiente.

As funções de afilamento são ferramentas que também são usadas para estimar volume de árvores e toras, e esses modelos são muito eficazes quando se busca o direcionamento para produção de uma floresta para multiprodutos (Santos *et al.*, 2019). A implementação das funções de afilamento em estudos florestais, proporciona uma otimização dos recursos florestais, permitindo a avaliação econômica e biológica do quantitativo florestal, detalhando quanto renderá o povoamento, para posteriormente executar o plano de manejo (Nicoletti, 2017).

Neste sentido, os modelos volumétricos e funções de afilamento (*taper*) são equações que apresentam facilidade e precisão na aplicação da estimativa do estoque florestal sendo de grande utilidade para o planejamento do manejo adequado para uma área. Partindo da hipótese que os métodos não apresentaram diferença significativa entre suas estimativas, o objetivo deste estudo foi realizar a estimativa de um povoamento florestal no estuário amazônico por meio de equações de volume e funções de afilamento conhecendo o desempenho dos modelos nesse tipo de ambiente e avaliar a precisão nos diferentes métodos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram levantados de um inventário florestal de uma área de várzea no estuário amazônico que é denominado por “Rio Chato”, essa área de estudo se encontra no interior da cidade de Gurupá-PA, dentro do distrito de Itatupã 0°32'54.68”S e 51°15'11.10”O. O clima da região é segundo a classificação de Köppen, equatorial, sendo quente e úmido do tipo Am, baseada nas observações anuais, sendo convencional para região amazônica (Silva, 2012).

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

No inventário florestal as parcelas foram permanentes, sendo que a amostragem nessa localidade foi feita de forma sistemática (Topanotti, 2016), sendo 10 parcelas de 5000 m² (50 m x 100 m) equidistantes em 100 metros, totalizando uma área de 50.000 m². Em todas as parcelas foram medidas a circunferência a 1,30m do solo (C) com o auxílio de uma fita métrica, altura total, altura do fuste com auxílio de hipsômetro *TruPulse 360*. O critério de inclusão foi o diâmetro a 1,30m do solo ($D \geq 4,78$ cm (15 centímetros de circunferência)).

Dentro e próximo das parcelas, foi feita a cubagem de 100 árvores caídas (árvores-amostras) durante o processo de inventário, seguindo o método de Smalian na cubagem do tronco por se mostrar o método mais preciso quando se realiza trabalhos em florestas nativas. Foram propostas quatro funções de afilamento e cinco modelos volumétricos (Tabela 1), para comparação da acurácia dos modelos e distinguir qual obtém melhor precisão em estuário amazônico. Os modelos volumétricos e as funções de afilamento foram ajustadas conforme: Lansanova *et al.* (2013), Andrade (2014), Campos & Leite (2017) e Correia *et al.* (2017).

Tabela 1. Modelos de volume e funções de afilamento ajustadas no estudo

| Modelos de Volume | Autor |
|--|---|
| $V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} + \varepsilon$ | Schumacher & Hall |
| $\log V = \beta_0 + \beta_1 \log D + \beta_2 \log H + \varepsilon$ | Schumacher & Hall - forma logarítmica |
| $\log V = \beta_0 + \beta_1 \log(D^2 H) + \varepsilon$ | Spurr - forma logarítmica (Campos & Leite, 2017) |
| $V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$ | Stoate (Correia <i>et al.</i> , 2017) |
| $V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 DH + \beta_4 D^2 H + \varepsilon$ | Meyer |
| Funções de Afilamento | Autor |
| $\frac{di}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{H}{H + hi} \right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{H + hi} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{H + hi} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{H + hi} \right)^4$ | Bennett & Swindell (1972) |
| $\left(\frac{di}{D} \right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{hi}{H}} + \beta_2 \left(\frac{hi}{H} \right)$ | Garcia <i>et al.</i> (1993) |
| $\left(\frac{d_i}{D} \right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2$ | Kozak <i>et al.</i> (1969) |
| $\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H} \right)^5$ | Schöepper (1966) |

V = volume por árvore; D = diâmetro a 1,30m do solo; H = altura da árvore; log = logaritmo; β_j = parâmetros do modelo (j = 0, 1, 2, 3, 4, 5); d_i = diâmetro mensurado a uma altura; h_i = altura a uma seção i (m).

Os critérios que foram usados para determinar o melhor modelo de volume e de afilamento foi o coeficiente de correlação (r_{yy}); raiz quadrada do erro médio (RQME); critérios de informações Akaike (AIC), desvio sistemático do valor real (Bias), distância média absoluta (DMA) e análise gráfica dos resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de Schumacher & Hall, Meyer e Stoate apresentaram boas correlações (Tabela 2), o maior valor foi de 0,938 e o menor foi de 0,8083. A raiz quadrada do erro médio (RQME) variou de 0,4244 a 1,9276 nos modelos, sofrendo baixa influência de Bias e do erro médio

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

absoluto (MDAE) que mostra a diferença absoluta entre a predição do modelo e o valor destino estimado; os resultados do critério Akaike (AIC) apresentaram as funções logarítmicas com os menores resultados, ou seja, os modelos logaritmos apresentaram uma menor perda de informações em relação a base de dados, porém um baixo $r_{\hat{y}y}$ e um maior erro médio em relação as outras funções. Os modelos de Schumacher & Hall e Meyer apresentaram resultados semelhantes, com o modelo de Meyer tendo valores um pouco acima comparado com o de Schumacher & Hall, resultado diferente do encontrado por Lansanova *et al.* (2018) quando comparou métodos de estimativa volumétrica na amazônia e o modelo de Schumacher & Hall se mostrou superior aos outros métodos e também de Biazatti *et al.* (2020) no qual o mesmo modelo apresentou maior acurácia na estimativa volumétrica da Flona do Jamari, Roraima.

Tabela 2. Resultados estatísticos obtidos nos modelos volumétricos testados

| Modelos de volume | AIC | RQEM | BIAS | MDAE | $r_{\hat{y}y}$ |
|-----------------------|----------|--------|--------|--------|----------------|
| Schumacher & Hall | 123,057 | 0,4301 | 0,0231 | 0,1279 | 0,9366 |
| Log Schumacher & Hall | 103,8206 | 1,9273 | -1,747 | 1,4943 | 0,8087 |
| Log Spurr | 101,9778 | 1,9276 | -1,747 | 1,4978 | 0,8083 |
| Stoate | 149,936 | 0,492 | 2E-10 | 0,1775 | 0,9157 |
| Meyer | 124,3819 | 0,4244 | 1E-10 | 0,1323 | 0,938 |

Em que: AIC = critério Akaike; RQEM = raiz quadrada do erro médio; BIAS = desvio sistemático do valor real; MDAE = erro médio absoluto; $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação.

Os resultados descritivos das quatro funções de afilamento (Tabela 3) mostraram bons resultados em relação as estatísticas de ajuste, entretanto, por se tratar de uma comunidade arbórea composta por diversas espécies, nota-se uma grande variação do comprimento e diâmetro do fuste das árvores na sua base de dados quando se é comparada a de uma floresta plantada, demonstrando ser dados provenientes de florestas nativas. As funções de Bennete & Swindell e a polinômio de 5° grau (Schöepper) apresentaram os melhores resultados descritivos, sendo a função de Bennete e Swindell a que teve melhor desempenho nos critérios de análise, desta forma selecionada como melhor função. Em estudo como o de Souza *et al.* (2020) que aplicaram funções de afilamento para uma comunidade arbórea no Amapá, a função de Bennete e Swindell se mostrou como a mais indicada para o uso na região.

Tabela 3. Resultados estatísticos das funções de afilamento testadas

| Função de afilamento | AIC | RQEM | Bias | MDAE | $r_{\hat{y}y}$ |
|----------------------|----------|--------|--------|--------|----------------|
| Kozak | 7873,536 | 7,9299 | 1,3018 | 3,1018 | 0,9111 |
| Schöepper | 7862,306 | 7,8696 | 1,3156 | 3,0664 | 0,9127 |
| Garcia | 7865,122 | 7,9004 | 1,3171 | 3,1644 | 0,912 |
| Bennett & Swindell | 7834,219 | 7,779 | 1,1142 | 2,6648 | 0,9125 |

Em que: AIC = critério Akaike; RQEM = raiz quadrada do erro médio; BIAS = desvio sistemático do valor real; MDAE = erro médio absoluto; $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação.

Na última análise foi plotado o gráfico de resíduos de cada modelo de volume testado (Figura 1); e os resultados da dispersão residual mostram uma maior homogeneidade nos resíduos dos modelos logaritmos, havendo uma distribuição mais compactada ao longo do eixo no gráfico, essa observação é importante pois segundo Draper & Smith (1998), mesmo que todos os resultados indicam um bom ajuste para o modelo, a análise dos resíduos é fundamental na escolha

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

da melhor equação ajustada. A função de Stoa demonstrou resíduos bastante dispersos (Figura 1D), e Schumacher & Hall mostrou uma subestimação nos resíduos iniciais, entretanto, com distribuição homogênea no restante dos resíduos.

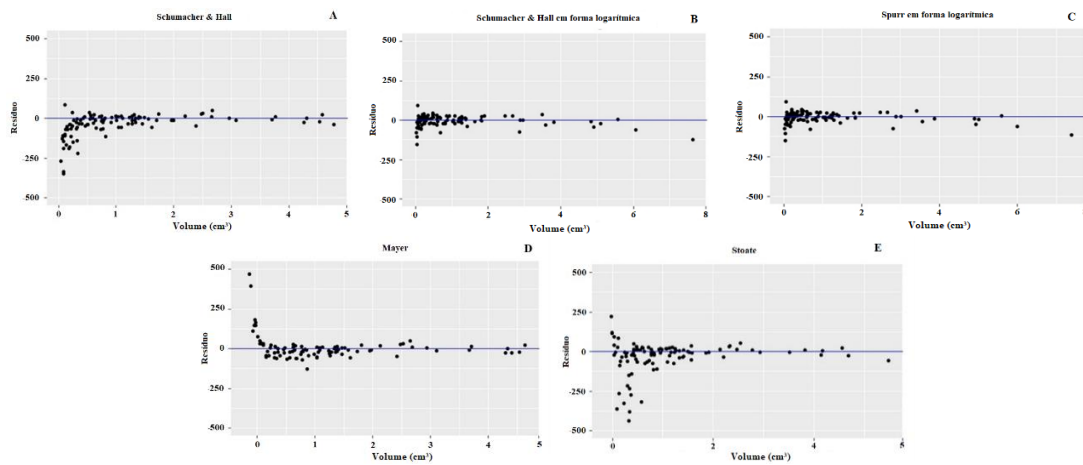


Figura 1. Gráfico de resíduos plotados dos modelos de volume.

Foi plotado os gráficos residuais das funções afilamentos que demonstraram um maior agravamento nos resíduos (Figura 2); ocorrendo uma alta superestimação e subestimação entre 0 e 50, segundo Silva *et al.* (2018) quando um modelo demonstra uma alta dispersão residual chegando a mostrar tendências é correto afirmar que o modelo está tendo dificuldade na estimativa, deste modo ao observar os gráficos de dispersão dos resíduos na Figura 2, percebe-se que todos os modelos apresentam dispersões residuais bastante variadas.

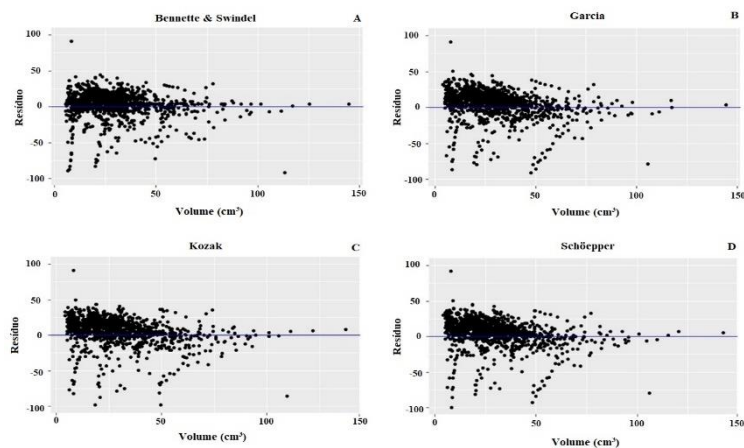


Figura 2. Gráfico de resíduos plotados as funções de afilamento.

A função de Bennett & Swindel obteve um ajuste superior quando comparado com os demais, uma vez que mostrou menores discrepâncias nas estimativas e sua dispersão residual está tendendo a homogeneidade maior dentre os dados. Os outros métodos de afilamentos se mostraram interessantes e indicados para uso em outros trabalhos.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que a equação volumétrica, especificamente o modelo de Schumacher e Hall na forma não linear, é o que possui melhor precisão e que obteve melhor desempenho baseado nos

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

critérios estatísticos descritivos comparado com os demais modelos de volume e afilamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, V. C. L. de. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p.271–283, 2014. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.614>.
- Bennett, F. A.; Swindell, B. F. **Taper curves for planted slash pine**. Washington: USDA; Forest Service, 1972. 4p. (Forest Service. Research Note, 179).
- Biazatti, S. C.; Scocoti, M. S. V.; Brito Júnior, J. F.; Mõra, R.; Rocha, K. J. Modelos tradicionais para estimativa do volume em área de concessão na Flona do Jamari – RO. **RBCA**, v. 9, n. 2, p.11–27, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/5013/3809>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5.ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636p.
- Correia, J.; Fantini, A.; Piazza, G. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para Florestas Secundárias do litoral de Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20150237, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023715>.
- Draper, N.; Smith, H. **Applied regression analysis**. 3.ed. New York: Wiley, 1998. 736p.
- Farias, K. J.; Nicoletti, M. F.; Aguiar, N. S. Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p.33-40, 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019033>.
- Garcia, S. L. R.; Leite, H. G.; Yared, J. A. G. Análise do perfil do tronco de morototó (*Didymopanax morototoni*) em função do espaçamento. In: Congresso Florestal Panamericano, 1.; Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura e Sociedade Brasileira de Engenheiro Florestais. 1993. v. 2, p. 485-491.
- Kozak, A.; Munro, D. D.; Smith, J. G. H. Taper function and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969. <https://doi.org/10.5558/tfc45278-4>.
- Lansanova, L.R.; Ubiali, J. A.; Arce, J. E.; Pelissari, A.; Favalessa, C. M. Drescher, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v. 43, n. 2, p.215-224, 2013. <https://doi.org/10.5380/rf.v43i2.26518>.
- Lansanova, L. R.; Silva, F. A.; Schons, C. T.; Pereira, A. C. S. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p.9-15, 2018. <https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57489>.
- Nicoletti, M. F. **Modelagem não linear mista e método bivariado para sortimento da produção de Pinus taeda L.** 2017. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/46455>. Acesso em: 05 Jul. 2023.
- Santos, R. M. M.; Dias, A. N.; Arce, J. A.; Martarello, V.; Serpe, E. L.; Stepka, T. F.; Lisboa, G. S. Modelos de volume e afilamento para florestas de *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 1, p.35-42, 2019. <https://doi.org/10.5380/biofix.v4i1.62744>.
- Santos, R. O. D.; Lima, R. C.; Lima, R. B.; Aparício, P. S.; Abreu, J. C. Florística e estrutura de uma comunidade arbórea na floresta estadual do Amapá, Amazônia Oriental, Brasil. **Nativa**, v. 5, n. especial, p.529-539, 2017. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/4454>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Silva, C. N. D. **Geografia e representação espacial da pesca na Amazônia paraense**. 1.ed. Belém: GAPTA/UFGPA, 2012. p.29-31.
- Silva, S. A.; Ferrari, L. S.; Moreira, D.; Lansanova, L. R.; Ansolin, R. D.; Ciarnoschi, L. D.; Nakajima, N. Y. Funções de afilamento para *Pinus elliottii* Engelm. proveniente de condução de regeneração natural. **BIOFIX Scientific Journal**, v.3, n.1, p.130-136, 2018. <https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57782>.
- Schöpper, W. **Automatisierung des Massen, Sorten and Wertberechnung stenender Waaldbestande Schriftenreihe Bad**. Berlin: Wurt-Forstl, 1966. n.p.
- Souza, R. G. T.; Pires, H. L. P.; Silva, A. V. S., Liarte, Gabriel V. C. C.; Lima, R. B.; Abreu, J. C. Funções de afilamento para uma comunidade arbórea na floresta estadual do Amapá (flota/AP). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 3, n. 1, p. 88-94, 2020. <https://doi.org/10.5935/2595-4407/rac.immes.v3n1p88-94>.
- Topanotti, L. R. **Fitossociologia, distribuição diamétrica e relações hipsométricas de um fragmento florestal no município de Dois Vizinhos - PR**. 2016. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10948>. Acesso em: 22 Jun. 2023.