



AJUSTE DE MODELOS NÃO LINEARES PARA A PREDIÇÃO DE VOLUME DE HÍBRIDOS DE *Eucalyptus urophylla* NA BAHIA

Rebecca Araujo Garcia¹, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia², Fabiano Rodrigues
Pereira¹, Thaís Chaves Almeida², Luís Marcelo Carvalho de Tavares¹

1 Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: rebeccaaraujo55@gmail.com; fabiano.engflo@gmail.com; passarinho@ufla.br

2 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil. E-mail: patriciabarreto@uesb.edu.br; florestal.thais@gmail.com

Autora correspondente: Rebecca Araujo Garcia. E-mail: rebeccaaraujo55@gmail.com

RESUMO

O emprego de modelos volumétricos é o procedimento mais usual para quantificação do volume de um povoamento florestal. Os modelos de Schumacher e Hall e Spurr estão entre os mais utilizados em plantações de eucalipto, devido sua qualidade estatística. Apesar disso, nem sempre os mesmos se ajustam a todas as espécies e condições, fazendo-se necessário testá-los por meio de estatísticas adequadas. Este estudo objetivou ajustar e validar equações para estimar o volume total com casca de árvores em plantios de híbridos de *Eucalyptus urophylla* no estado da Bahia e, assim, indicar uma equação que gera as melhores estimativas para as condições da área de estudo. Foram ajustados dois modelos volumétricos não lineares. A seleção do modelo com melhor desempenho foi baseada no raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE), eficiência do modelo (EF) e distribuição gráfica de resíduos. Os dois modelos testados podem ser empregados para estimar volume do povoamento, observando-se superioridade do modelo de Spurr, com resultados mais satisfatório na validação dos dados.

Palavras-chave: Eucalipto; Inventário florestal; Schumacher e Hall; Spurr

FITTING NONLINEAR MODELS FOR PREDICTING VOLUME OF Eucalyptus urophylla HYBRIDS IN BAHIA, BRAZIL

ABSTRACT

The use of volumetric models is the most common procedure for quantifying the volume of a forest stand. The Schumacher and Hall and Spurr models are among the most used in eucalyptus plantations, due to their statistical quality. Despite this, they do not always fit all species and conditions, making it necessary to test them using appropriate statistics. This study aimed to adjust and validate equations to estimate the total volume with tree bark in Eucalyptus urophylla hybrid plantations in the state of Bahia and, thus, indicate an equation that generates the best estimates for the conditions of the study area. Two nonlinear volumetric models were fitted. The selection of the model with the best performance was based on the root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), model efficiency (EF) and graphical distribution of residuals. The two models tested can be used to estimate the volume of the stand, observing the superiority of the Spurr model, with more satisfactory results in data validation.

Key words: *Eucalyptus*; Forest inventory; Schumacher and Hall; Spurr

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

O volume é uma das principais variáveis consideradas na avaliação do potencial produtivo de uma floresta, sendo uma informação fundamental em qualquer processo de planejamento da produtividade florestal. A quantificação do volume madeireiro geralmente é realizada por meio da realização de um inventário florestal, utilizando-se uma amostra como base para se fazer inferências da população. Os dados obtidos no inventário fornecem informações cruciais sobre o povoamento florestal, com o volume de madeira por espécie e por hectare, estoque de regeneração natural, entre outros (Martins *et al.*, 2021).

Diversos métodos podem ser utilizados para a estimativa volumétrica de uma floresta, destacando-se como os mais representativos os fatores de forma, quocientes de forma e as equações de volume (Soares *et al.*, 2006; Bukhart & Tomé, 2012; Campos & Leite, 2017). Apesar disto, o emprego de modelos volumétricos é o procedimento mais usual para quantificação do volume de um povoamento florestal (Andrade *et al.*, 2019; Cordeiro *et al.*, 2022).

Dentre os principais modelos volumétricos, o de Schumacher e Hall e Spurr estão entre os mais difundidos, devido sua qualidade estatística, resultando quase sempre em estimativas não tendenciosas (Campos & Leite, 2013; Andrade *et al.*, 2019). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi ajustar e validar equações para estimar o volume total com casca de árvores de híbridos de *Eucalyptus urophylla* na região Sudoeste da Bahia, e assim, indicar uma equação que forneça melhores previsões para as condições da área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos em um plantio composto por cinco clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, com sete anos de idade (Tabela 1). O plantio está localizado na Fazenda Baixão (14° 49" S e 40° 59" O), no município de Vitória da Conquista, Bahia, e foi estabelecido em espaçamento 3 m x 4 m, com os clones distribuídos em três fileiras intercaladas aleatoriamente.

Tabela 1. Clones de híbridos de eucalipto do plantio da Fazenda Baixão, o município de Vitória da Conquista, Bahia.

Cultivar	Espécies
AEC 0144	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake
CO 1355	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden x <i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake
ACETALYPTUS 1404	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake
CO 1296	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden x <i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake
CO 1249	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden x <i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake

O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwb), de acordo com a classificação de Koppen (Alvares *et al.*, 2013), com médias anuais de temperatura e precipitação de aproximadamente 25°C e 850 mm, respectivamente (Barbosa *et al.*, 2017). O relevo é predominantemente plano a levemente ondulado, com uma altitude média de cerca de 880 m. O solo da área de estudo apresenta uma textura argilosa, sendo pertencente à classe Latossolo Amarelo Distrófico (Santos *et al.*, 2018).

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Foram abatidas 114 árvores e, posteriormente, realizou-se a cubagem rigorosa usando o método de Smalian. Os diâmetros, com casca, foram medidos ao longo do fuste, nas posições relativas correspondentes a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95% da altura total da árvore. Além disto, mediu-se o diâmetro a 1,30m do solo (D) e altura total do fuste (H) com o uso de suta e fita métrica, respectivamente.

Com base nos dados da cubagem, os volumes foram calculados para cada seção e, em seguida, o volume total de cada árvore foi obtido somando-se os volumes de todas as seções, incluindo o volume da ponta. Essa análise foi realizada utilizando o pacote *forestmangr* (Braga *et al.*, 2019) na linguagem R (R Core Team, 2020).

O ajuste de modelos volumétricos foi utilizado para a predição de volume individual das árvores do povoamento. Os modelos adotados apresentam o volume total (V) em função das variáveis independentes D e H. Foram avaliados dois modelos: Schumacher e Hall (1933) e Spurr, que são dados pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$V = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} + \varepsilon \quad (1)$$

$$V = \beta_0 \cdot (D^2H)^{\beta_1} + \varepsilon \quad (2)$$

Em que: V = volume em m³; D = diâmetro com casca a 1,30m do solo; H = altura total do fuste em m; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; ε = erro aleatório.

As estatísticas descritivas dos dados usados para o ajuste e validação dos modelos volumétricos em plantios de *Eucalyptus urophylla* são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis dendrométricas utilizadas para a estimativa de volume individual de um povoamento de *Eucalyptus sp.* no município de Vitória da Conquista, Bahia.

Variável	Ajuste					Validação				
	Média	S	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	S	CV (%)	Máximo	Mínimo
DAP (cm)	18,83	4,59	24,39	31	4	18,39	4,71	25,64	31	10,9
HT (m)	21,32	3,97	18,61	28,5	7,1	20,92	3,88	18,54	29,7	15,25
Volume (m ³)	0,31	0,1764	56,75	0,885	0,007	0,29	0,1695	58,25	0,744	0,086

Em que: S = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Utilizou-se 70% dos dados para ajuste dos modelos (n = 84 árvores) e 30% para validação (n = 31 árvores) das estimativas de volumes individuais obtidos pelas metodologias avaliadas no presente trabalho. Para a seleção do modelo de regressão que apresentou maior eficiência na estimativa de volume total de cada árvore, tendo como referência os valores obtidos na cubagem rigorosa, foram utilizados os seguintes critérios estatísticos: raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro médio absoluto percentual (MAE), viés (BIAS), eficiência do modelo (EF), que é semelhante ao coeficiente de determinação (Camacho *et al.*, 2021) e distribuição gráfica de resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas dos modelos ajustados para estimativa do volume individual das árvores são apresentadas na Tabela 3. O ajuste dos modelos de volume de Schumacher-Hall e de Spurr resultaram em valores de eficiência do modelo (EF) bastante próximos: 0,09765 e 0,9750,

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

respectivamente. Assim como a EF, o MAE também apresentou valores similares entre os modelos ajustados: 5,1435 e 5,1388.

Embora os dois modelos tenham apresentado bom desempenho de ajuste. O modelo de Spurr mostrou melhores resultados durante a validação para todos os critérios avaliados, com menores valores de RMSE, MAE e BIAS e maior EF, o que evidencia um ajuste mais adequado aos dados de volume dos clones de eucalipto.

Tabela 3. Critérios estatísticos para escolha dos modelos ajustados e validados para estimativa de volume individual de um povoamento de *Eucalyptus sp.* no município de Vitória da Conquista, Bahia.

Ajuste				
Modelo	RMSE (m ³)	MAE %	EF	BIAS
Schumacher- Hall	0,0265	5,1435	0,9765	0,001093
Spurr	0,0273	5,1388	0,9750	0,000881
Validação				
Modelo	RMSE (m ³)	MAE %	EF	BIAS
Schumacher- Hall	0,025295	6,63605	0,9753	0,00105
Spurr	0,024725	6,30353	0,9764	0,000232

Em que: RMSE = raiz do erro quadrático médio; MAE = erro médio absoluto percentual; EF = eficiência do modelo (EF); BIAS = viés

Os gráficos de resíduos oferecem um suporte à tomada de decisão, visto que proporcionam uma interpretação visual da qualidade dos ajustes dos modelos e auxiliam na escolha do modelo. Analisando as distribuições de resíduos dos modelos (Figura 1), foi possível observar distribuições uniformes, indicando boas precisões dos dois modelos, sem tendenciosidades. Apesar disso, o modelo de Spurr apresentou melhor estatística de precisão na validação dos dados (Tabela 3).

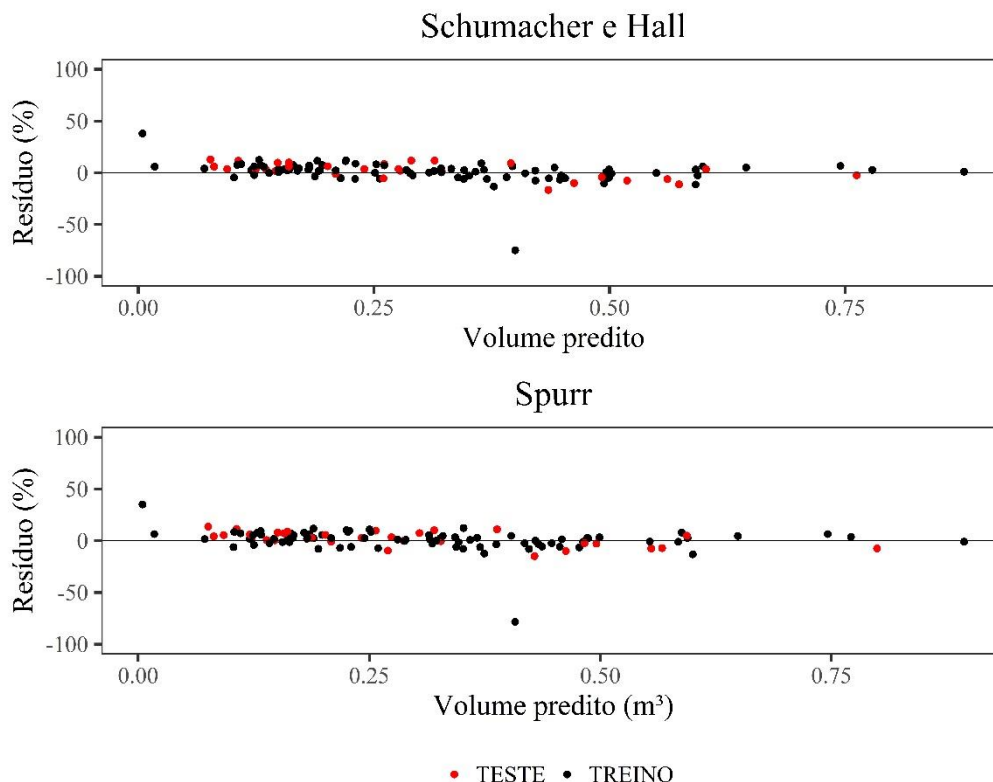


Figura 1. Distribuição de resíduos dos modelos ajustados em relação ao D

CONCLUSÃO

Os modelos de Schumacher-Hall e de Spurr podem ser empregados para estimar com precisão o volume de árvores de híbridos de eucalipto nas condições estudadas. No entanto, o modelo de Spurr mostra-se mais adequado, expressando resultados mais satisfatórios na validação dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Andrade, V. C. L.; Gama, R. Da C.; D. L. C. Revisão sobre modelos volumétricos empregados em povoamentos florestais brasileiros. *Advances in Forest Science*, v. 6, n. 1, p.561-566, 2019. <https://doi.org/10.34062/afs.v6i1.7313>.
- Barbosa, V.; Barreto-Garcia, P.; Gama-Rodrigues, E.; Paula, A. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. *Floresta e Ambiente*, v. 24, e20150243, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.024315>.
- Braga, S. R.; Oliveira, M. R.; Gorgens, E. B. Forestmangr: Functions for forest mensuration and management. R-package version 0.9. 1. 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/forestmangr/index.html>. Acesso em: 10 Jul. 2023.
- Bukhart, H. E.; Tomé, M. **Modeling forest trees and stands**. Dordrecht: Springer. 2012. 458p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3170-9>.
- Camacho, E. A. R.; Rivas, S.C.; Hernández, J. A. L.; Durán, A. A. C.; Carmona, J. X.; Nagel, J. Generalized height-diameter models with random effects for natural forests of Central Mexico. *Cerne*, v.28, e103033, 2021. <https://doi.org/10.1590/01047760202228013033>.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5.ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636p.
- Cordeiro, M. A; Arce, J. E.; Guimarães, F. A. R.; Bonete, I. P.; Silva, A. V. Dos S.; Abreu, J. C.; Binoti, D. H. B. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto utilizando máquinas de vetores de suporte e redes neurais artificiais. *Madera y Bosques*, v. 28, n. 1, e2812252, 2022. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812252>.
- Cunha, S.U. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus: Escola Agrotécnica Federal de Manaus, 2004. 61p.
- Leite, H. G.; Andrade V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. *Revista Árvore*, v. 26. n. 3. p.321- 328, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300007>.
- Martins, M. T.; Costa, E. A.; Marangon, G. P. Estimativas volumétricas em plantios de eucalipto para mesorregiões do Rio Grande do Sul. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 6. n. 1. p.28-36, 2021. <https://doi.org/10.5380/biofix.v6i1.75708>.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- Santos, G. M.; Oliveira, X. M.; Homczinski, I.; Mayrinck, R. C.; Cavassim, W. S. Modelagem mista generalizada para estimar afilamento do fuste de árvores de *Pinus taeda* em diferentes espaçamentos de plantio. *Advances in Forestry Science*, v. 8, n. 1, p.1261-1269, 2021. <https://doi.org/10.34062/afs.v8i1.12414>.
- Soares, C. P. B.; Paula Neto, F.; Souza, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276 p.