

PROPOSIÇÃO DE NOVOS QUOCIENTES DE FORMA PARA PREDIÇÃO DE VOLUME DE HÍBRIDOS DE EUCALIPTO

ISADORA FERRAZ CHAGAS¹, PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO-GARCIA²,
THAIS CHAVES ALMEIDA³

RESUMO

O volume é uma das informações mais importantes para o conhecimento do potencial produtivo de uma da floresta. Diferentes métodos podem ser empregados para a estimativa da produção volumétrica de um povoamento florestal, como modelos volumétricos, fatores de forma e quocientes de forma. Ainda são escassas as informações à cerca da proposição e acurácia de quocientes de forma diferentes dos já propostos da literatura e, por essa razão, estudos que consigam comprovar sua praticidade em campo e garantir dados precisos são fundamentais. O objetivo deste estudo foi desenvolver novos quocientes de forma para estimar o volume de árvores de diferentes híbridos de eucalipto e avaliar a sua acurácia. Os dados utilizados foram obtidos em um plantio comercial de *Eucalyptus*, com sete anos de idade, composto por seis clones de híbridos do gênero, situado na Fazenda Baixão, distrito Pradoso, município de Vitória da Conquista, Bahia. Foram cubadas 158 árvores pelo método de Smalian para obtenção do volume real. Realizou-se o treinamento de dez modelos volumétricos e dois fatores de forma (o artificial e o fator de Hohenald), além dos novos quocientes de forma propostos (8 quocientes) e o quociente de forma de Schiffel. Posteriormente, foram obtidos os volumes estimados por meio da melhor equação ajustada, melhor quociente de forma e melhor fator de forma que foram selecionados com base em critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado, raiz quadrada do erro médio, erro médio absoluto percentual, critério de informação de Akaike e dispersão gráfica dos resíduos. Os volumes preditos foram comparados ao volume real pelo teste t de student ($\alpha = 0,05$) para verificar a acurácia das metodologias empregadas. A equação com melhor desempenho foi a de Schumacher e Hall logaritimizado. O melhor fator de forma médio foi o de Hohenald, apresentando valor de 0,54. O melhor quociente de forma foi a relação entre o diâmetro a altura de 0% e a altura de 50% da árvore com valor médio de 0,49. As estimativas de volume para equação ajustada e para o quociente de forma não apresentaram variação significativa em relação ao volume real e, dessa forma, as duas metodologias mostram-se adequadas para a predição de volume de híbridos de eucalipto.

PALAVRAS-CHAVE: Cubagem rigorosa, Dendrometria, Equações volumétricas, Florestas plantadas, Mensuração.

PROPOSITION OF NEW SHAPE QUOTIENTS FOR PREDICTING THE VOLUME OF EUCALYPTUS HYBRIDS

ABSTRACT

Volume is one of the most important pieces of information for understanding a forest's productive potential. Different methods can be used to estimate the volumetric production of a forest stand, such as volumetric models, shape factors and shape quotients.

¹ Graduanda em Engenharia Florestal – UESB, Vitória da Conquista.

² Engenheira Florestal, Dr., Professora titular – UESB, Vitória da Conquista.

³ Mestranda em Ciências Florestais – UESB, Vitória da Conquista.

Information on the proposition and accuracy of shape quotients other than those already proposed in the literature is still scarce and, for this reason, studies that can prove their practicality in the field and guarantee accurate data are essential. The aim of this study was to develop new shape quotients to estimate the volume of trees from different eucalyptus hybrids and to assess their accuracy. The data used was obtained from a seven-year-old commercial Eucalyptus plantation made up of six clones of hybrids of the genus, located at Fazenda Baixão, Pradoso district, in the municipality of Vitória da Conquista, Bahia. 158 trees were cubed using the Smalian method to obtain the real volume. Ten volumetric models and two shape factors (the artificial one and the Hohenald factor) were re-trained, in addition to the new shape quotients proposed (8 quotients) and the Schiffel shape quotient. Subsequently, the estimated volumes were obtained using the best adjusted equation, best shape quotient and best shape factor, which were selected based on statistical criteria: adjusted coefficient of determination, square root of the mean error, mean absolute percentage error, Akaike's information criterion and graphical dispersion of the residuals. The predicted volumes were compared to the actual volume using the Student's t-test ($\alpha = 0.05$) to check the accuracy of the methodologies used. The equation with the best performance was that of Schumacher and Hall logarithmized. The best average shape factor was that of Hohenald, with a value of 0.54. The best shape quotient was the ratio between the diameter at 0% height and the height of 50% of the tree, with an average value of 0.49. The volume estimates for the adjusted equation and the shape quotient showed no significant variation in relation to the real volume and, therefore, the two methodologies are suitable for predicting the volume of eucalyptus hybrids.

KEYWORDS: Rigorous cubing, Dendrometry, Volumetric equations, Planted forests, Measurement.

INTRODUÇÃO

Para suprir a demanda de madeira no Brasil, tem-se aumentado de forma crescente a produção de florestas plantadas no país. Tendo em vista esta necessidade, a implantação de florestas de rápido crescimento é uma opção viável para áreas nas quais a vegetação nativa já foi suprimida sem que haja o desmatamento de novas áreas (Silva et al., 2020). Dentre as espécies arbóreas de rápido crescimento estão as do gênero *Eucalyptus*.

O volume é uma das informações mais importantes para o conhecimento do potencial da floresta, permitindo avaliar o estoque de madeira, tanto em povoamentos florestais, quanto de uma espécie em particular (Biazatti et al., 2020). Os modelos volumétricos, os fatores de forma e os quocientes de forma constituem importantes métodos para a estimativa da produção volumétrica de um povoamento florestal (Martins et al., 2021).

O quociente de forma consiste na razão entre diferentes diâmetros, geralmente acima do DAP (diâmetro a 1,3 m), e o próprio diâmetro a altura do peito (Floriano, 2018). Segundo Gomes (2022), o quociente de forma tem como objetivo indicar uma medida que possa ser facilmente obtida nas rotinas de inventário e assim classificar as árvores em classes de forma.

Como há uma carência de informações à cerca do quociente de forma, estudos que avaliem sua acurácia na estimativa do volume são fundamentais, para assegurar resultados precisos e subsidiar a indicação desses quocientes para facilitar o trabalho de campo. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi desenvolver novos quocientes de forma que possibilitem estimar com precisão o volume de árvores de diferentes híbridos de eucalipto e avaliar a acurácia desses quocientes por meio da comparação com os volumes reais e volumes estimados por métodos tradicionalmente utilizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram obtidos de um plantio comercial localizado na Fazenda Baixão, no distrito Pradoso, município de Vitória da Conquista, Bahia. O plantio é composto por seis híbridos de *Eucalyptus* (Tabela 1), produzidos por via clonal, com sete anos de idade.

TABELA 1: Híbridos do gênero *Eucalyptus* presente no plantio comercial

Nº	Cultivar	Espécie
1	CO 1249	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
2	CO 1296	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
3	CO 1355	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
4	ACETALYPTUS 1404	<i>E. urophylla</i>
5	AEC 0144	<i>E. urophylla</i>
6	VM058	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. tereticornis</i>

Fonte: Chagas et al. (2023).

Foram cubadas 158 árvores por meio do método de Smalian. Os diâmetros ao longo do fuste foram medidos com suta nas posições relativas de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 90% em relação à altura total da árvore. Para cada árvore, foi medido o diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) e a altura total do fuste (HT).

A partir dos dados da cubagem foram calculados os volumes reais das árvores e feita distribuição diamétrica. Os dados foram separados conforme Leal et al. (2020), sendo 70% para o ajuste e 30% para validação.

Posteriormente, iniciou-se o processo de ajuste das três metodologias utilizadas a fim de estimar o volume dos híbridos: **quociente de forma** – foram testadas novas razões entre diâmetros em altura relativa de 1% a 10% da altura da árvore e o diâmetro obtido a 50% da árvore, além do quociente de Schiffel; **modelo volumétrico** – foi feito o ajuste de dez modelos volumétricos tradicionalmente utilizados para predição de volume de eucalipto; e **fator de forma** – foram testados dois fatores de forma: o fator artificial e o fator de Hohenald.

A melhor opção de cada método foi determinada a partir dos critérios: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio

absoluto percentual (MAPE), critério de informação de Akaike (AIC) e análise gráfica da dispersão dos resíduos. Para os dados de validação foi aplicado o teste t de Student para dados pareados ($\alpha = 0,05$) e considerado o erro padrão da diferença média (EPd) e o erro médio em percentagem (E%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os dez modelos testados, o de Schumacher e Hall logaritmizado apresentou os melhores resultados para as estatísticas de precisão consideradas e maior aproximação dos dados com a média. Autores como Neto et al. (2021) e Santana et al. (2021), também obtiveram esta como a melhor equação para predição de volumes de espécies e híbridos de eucalipto.

O fator de forma de Hohenald apresentou melhor estatística de precisão e, portanto, maior eficiência ao estimar um volume médio mais perto do real em relação ao fator de forma artificial. O valor médio obtido foi de 0,54, estando próximo aos encontrados por outros autores que estudavam eucalipto, como Nunes e Soares (2017) e Wirabuana et al. (2020).

Para quociente de forma, a relação com melhor estatística de precisão e melhor dispersão dos resíduos foi proposta usando a relação entre os diâmetros a 0 e 50% da altura da árvore. O quociente médio encontrado foi de 0,49, estando menor que em outros trabalhos com eucalipto. Azevedo et al. (2011) encontraram valores variando de 0,64 a 0,67. Essa diferença pode ser explicada por conta da altura usada na relação ser menor que a usada pelos autores.

Foi obtido um volume real médio de 0,3322 m³ para os dados de validação e, após realização do teste t de Student, observou-se que não houve diferenças significativas entre o volume real e os volumes estimados para os métodos de quociente de forma e equação ajustada, pois o p-valor para ambos foi maior que o alfa a 5% (Tabela 2).

TABELA 2: Comparação do volume médio encontrado, utilizando os dados de teste e validação pelos métodos e volume real.

Método	\bar{v}	p-valor	EPd	E%
Volume Real	0,3322	-	-	-
Quociente de forma (5%)	0,3436	0,2097 ^{ns}	0,00073	3,42
Fator de Forma Hohenald	0,3779	4,84E-05*	0,00295	13,76
Equação Ajustada (2)	0,3237	0,3107 ^{ns}	0,00055	2,55

Em que: (2) = Schumacher e Hall logaritmizado; \bar{v} = volume médio; p-valor = nível crítico observado pelo teste t de Student ($\alpha = 0,05$) em comparação ao Volume Real; EPd= Erro padrão

da diferença média; E%= erro médio associado a estimativa em porcentagem. Fonte: Chagas et al. (2023).

Pelo fato de o quociente de forma proposto necessitar de apenas dois dados de diâmetro, variável de fácil obtenção, o método se apresenta com maior potencial de utilização, podendo ser aplicado em diversas situações de rotinas florestais, com rapidez e confiabilidade.

CONCLUSÕES

O quociente de forma obtido ao considerar a relação entre a altura relativa de 0% e 50% da árvore e a equação de Schumacher e Hall logaritimizada são indicados para predição de volume de híbridos de *Eucalyptus*, enquanto o fator de forma não se mostra adequado. O quociente de forma se destaca por sua facilidade na obtenção das variáveis de campo, reduzindo tempo e custo para realização do inventário florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Gileno Brito et al. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 309-309, 2011.

BIAZATTI, Scheila Cristina et al. Modelos tradicionais para estimativa do volume em área de concessão na Flona do Jamari-RO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 2, p. 19-27, 2020.

FLORIANO, Eduardo Pagel. Manejo Florestal: para sustentabilidade e excelência. 2018.

GOMES, Silvio Henrique Menezes. **Análise do efeito do espaçamento e material genético na forma do tronco de árvores de *Eucalyptus spp.* sob o prisma da modelagem**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEAL, Fabrício Assis; LEAL, Glória da Silva Almeida; DA SILVA, Thaís Costa. Redes neurais artificiais e modelos alométricos aplicados para estimativa de volume e altura em *Eucalyptus urophylla* ST Blacke. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1181-1188, 2020.

MARTINS, Matheus Teixeira; COSTA, Emanuel Arnoni; MARANGON, Gabriel Paes. Estimativas volumétricas em plantios de eucalipto para duas mesorregiões do Rio Grande do Sul. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 28-37, 2021.

NETO, Ernandes Macedo da Cunha et al. Aprendizado de máquina e regressão linear na estimativa do volume de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 08-14, 2021.

NUNES, Jéssica Silva; SOARES, Thelma Shirlen. Estimativas volumétricas para um povoamento adensado de *Eucalyptus sp.* em regime de curta rotação. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 77-86, 2017.

SANTANA, Thiêssa Tamilla de Carvalho et al. Equações volumétricas para *Eucalyptus* sp. no cerrado tocantinense. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 3, p. 252-260, 2021.

SILVA, José Wesley Lima et al. **Modelos estatísticos e técnicas de inteligência artificial para estimativa do volume de clones de *Eucalyptus* spp. com adição de variáveis climáticas**. 2020. Tese de Doutorado. Ph. D. Thesis.] Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco (in Portuguese).

WIRABUANA, Pandu Yudha Adi Putra et al. Interação da adubação e controle de plantas daninhas influencia o crescimento, biomassa e carbono em híbrido de eucalipto (*E. pellitax* E. brassiana). **Jurnal Manajemen Hutan Tropika** , v. 2, pág. 144-144, 2020.