



## AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME PARA UM POVOAMENTO FLORESTAL NO SUL DO BRASIL

Adriano Castro de Brito<sup>1</sup>, Henrique Soares Koehler<sup>2</sup>, Alexandre Behling<sup>2</sup>

1 Universidade Estadual do Centro-Oeste, Pós-Graduação em Ciências Florestais, Irati, PR, Brasil. E-mail: acbrito.eng@gmail.com

2 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: koehler@ufpr.br; alexandre.behling@yahoo.com.br  
Autor correspondente: E-mail: acbrito.eng@gmail.com.

### RESUMO

O setor de florestas plantadas ano após ano têm expandido suas áreas de cultivos no Brasil. Esse crescimento é importante, pois torna-se um indicador de desenvolvimento econômico, visto que, tal crescimento pode promover novas oportunidades de trabalho e conseqüentemente gerar renda para a população, além disto, favorecer o desenvolvimento social e ambiental. O objetivo deste trabalho foi ajustar modelos volumétricos, bem como avaliar a qualidade do ajuste. O estudo foi realizado em povoamentos comerciais de acácia-negra localizados no município de Cristal, Rio Grande do Sul. Para isso, foram instaladas aleatoriamente quatro parcelas circulares de 22,56 m de diâmetro (400 m<sup>2</sup>) em cada povoamento. O processo de cubagem consistiu no seccionamento do fuste pelo método de Hohenadl, em que as medidas relativas foram realizadas nas posições 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% proporcional à sua altura total. A partir dos resultados, constatou-se que o modelo de Spurr demonstrou-se mais adequado conforme evidenciado pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj} = 0,9889$ ) e o erro padrão da estimativa ( $S_{xy}\% = 10,41$ ). Conclui-se que, tais informações podem auxiliar no planejamento, gestão e na tomada de decisão sobre o manejo e produtividade em povoamentos florestais.

**Palavras-chave:** Acácia-negra; biometria florestal, estimativa de volume

## ADJUSTMENT OF VOLUME EQUATIONS FOR A FOREST STAND IN SOUTHERN BRAZIL

### ABSTRACT

Year after year, the planted forest sector has been expanding its areas of cultivation in Brazil. This growth is important, as it becomes an indicator of economic development, as such growth can promote new job opportunities and consequently generate income for the population, in addition to favoring social and environmental development. The objective of this work was to fit volumetric models, as well as to evaluate the goodness of fit. The study was carried out in commercial stands of black wattle located in the municipality of Cristal, Rio Grande do Sul, Brazil. For this, four circular plots of 22.56 m in diameter (400 m<sup>2</sup>) were randomly installed in each stand. The cubing process consisted of sectioning the stem using the Hohenadl method, in which relative measurements were taken at positions 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% and 95% proportional to your total height. From the results, it was found that the Spurr model proved to be more adequate as evidenced by the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj} = 0.9889$ ) and the standard error of the estimate ( $S_{xy}\% = 10.41$ ). It is concluded that such information can help in planning, management and decision-making about the management and productivity in forest stands.

**Key words:** Acácia-negra; forest biometrics, volume estimation

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

A acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) é uma espécie pertencente à família Fabaceae, no Brasil possui distribuição geográfica principalmente na região Sul. A espécie é originária da Austrália e foi introduzida no Brasil em 1918, no estado do Rio Grande do Sul (Behling, 2014). A acácia-negra é descrita como uma árvore de rápido crescimento e que se desenvolve em qualquer tipo de solo, além de contribuir na recuperação de solos com baixa fertilidade (Costa Junior *et al.*, 2021).

Por ser um País em grande expansão territorial e possuir uma condição climática favorável, isso faz do Brasil uma referência a nível internacional em florestas plantadas (Costa *et al.*, 2019).

Desta forma, dentre as ferramentas para estimar o crescimento e produção dos povoamentos florestais, encontram-se as equações de volume. De acordo com Sales *et al.* (2015) o uso dessas equações consiste em um método eficiente para estimar o volume e a produção em plantios florestais. Para Tonini & Borges (2015), as equações volumétricas são de uso geral e fundamentais para o planejamento e execução de um plano de manejo florestal, sendo necessário ajustá-las para diferentes espécies, regiões e fitofisionomias.

Diante disto, o presente trabalho objetivou ajustar modelos volumétricos, bem como avaliar a qualidade do ajuste, com intuito de auxiliar no planejamento e gestão de povoamentos florestais de acácia-negra no Sul do Brasil.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em povoamentos comerciais de acácia-negra localizado no município de Cristal, Rio Grande do Sul. A classificação climática, segundo Köppen, enquadra-se na zona fundamental temperada, isto é, tipo climático temperado úmido ou “Cf”, com distribuição de chuvas durante todo o ano e com precipitações mensais superiores a 60 mm (Moreno, 1961; Mochiutti, 2007). Em relação ao solo da região, predominam os Argissolos, Neossolos e Planossolos (Costa Junior, 2018).

Para realizar este estudo os dados foram cedidos pela empresa TANAC S.A./ TANAGRO S.A. Para isto, foram instaladas aleatoriamente quatro parcelas circulares de 22,56 m de diâmetro (400 m<sup>2</sup>) em cada povoamento. Para quantificar o volume, foram instaladas subparcelas de 10 m de diâmetro (78,54 m<sup>2</sup>) no centro de cada parcela. Nas subparcelas, todos os indivíduos foram derrubados e avaliados quanto à altura total e diâmetro, utilizando-se fita dendrométrica e fita métrica, respectivamente.

O procedimento de derrubada foi utilizado para determinação do volume dos indivíduos. O processo de cubagem consistiu no seccionamento do fuste pelo método de Hohenadl, em que as medidas relativas foram realizadas nas posições 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% proporcional à sua altura total. E assim, o volume total do fuste (com casca) foi obtido pelo método de Huber.

Para estimar o volume individual de árvores de acácia-negra, foram utilizados quatro modelos, sendo os modelos de dupla entrada, ou seja, são modelos que utilizam as variáveis combinadas de diâmetro e altura, como variáveis independentes (Tabela 1).

**Tabela 1.** Modelos volumétricos utilizados para estimativa de volume em povoamentos de acácia-negra no Sul do Brasil

Nº	Modelo	Autor
01	$v = \beta_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Spurr
02	$v = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Schumacher-Hall
03	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2 + \beta_2 \cdot (D^2 \cdot H) + \beta_3 \cdot H + \varepsilon_i$	Stoate
04	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2 + \beta_2 \cdot (D^2 \cdot H) + \beta_3 \cdot (D \cdot H^2) + \beta_4 \cdot H^2 + \varepsilon_i$	Näslund

Em que:  $v$  = volume ( $m^3$ );  $D$  = diâmetro a 1,30m do solo (cm);  $H$  = altura total (m);  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  = parâmetros a serem estimados;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório

Para as equações linearizadas, foi utilizado o fator de correção de Meyer, com o objetivo de corrigir os problemas da discrepância logarítmica, conforme Equação 1.

$$IM = e^{0,5 \cdot QMRes} \quad (1)$$

Em que:  $e$  = base do logaritmo natural;  $QMRes$  = Quadrado médio do resíduo.

Para avaliar a precisão e o desempenho de cada equação, foram utilizados os seguintes critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), pelo erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx\%}$ ) e análise gráfica dos resíduos. Todas as análises foram feitas no programa estatístico R, além da planilha eletrônica do Excel®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas de qualidade de ajuste indicaram, de maneira geral, bom ajuste dos dados aos modelos propostos, já que os valores de  $R^2_{aj}$  são próximos de 1, indicando que 98% da variação dos volumes, em torno da sua média, é explicada pelas equações. O erro padrão residual apresentou pequena variação entre os modelos avaliados em relação à média dos volumes de todas as árvores (Tabela 2).

**Tabela 2.** Modelos volumétricos utilizados para estimativa de volume em povoamentos de acácia-negra no Sul do Brasil

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	IM	$R^2_{aj}$	$S_{vx\%}$
Spurr	-9,71956*	0,947249*	-	-	-	1,00325	0,9889	10,41
Schumacher-Hall	-9,76919*	1,810988*	1,042625*	-	-	1,00312	0,9888	10,46
Näslund	0,003756 <sup>ns</sup>	-1,4E-05 <sup>ns</sup>	3,29E-05*	6,606E-06 <sup>ns</sup>	-2,31E-05 <sup>ns</sup>	-	0,9895	10,12
Stoate	0,000506 <sup>ns</sup>	-6,2E-05 <sup>ns</sup>	4,01E-05*	0,000479*	-	-	0,9895	10,14

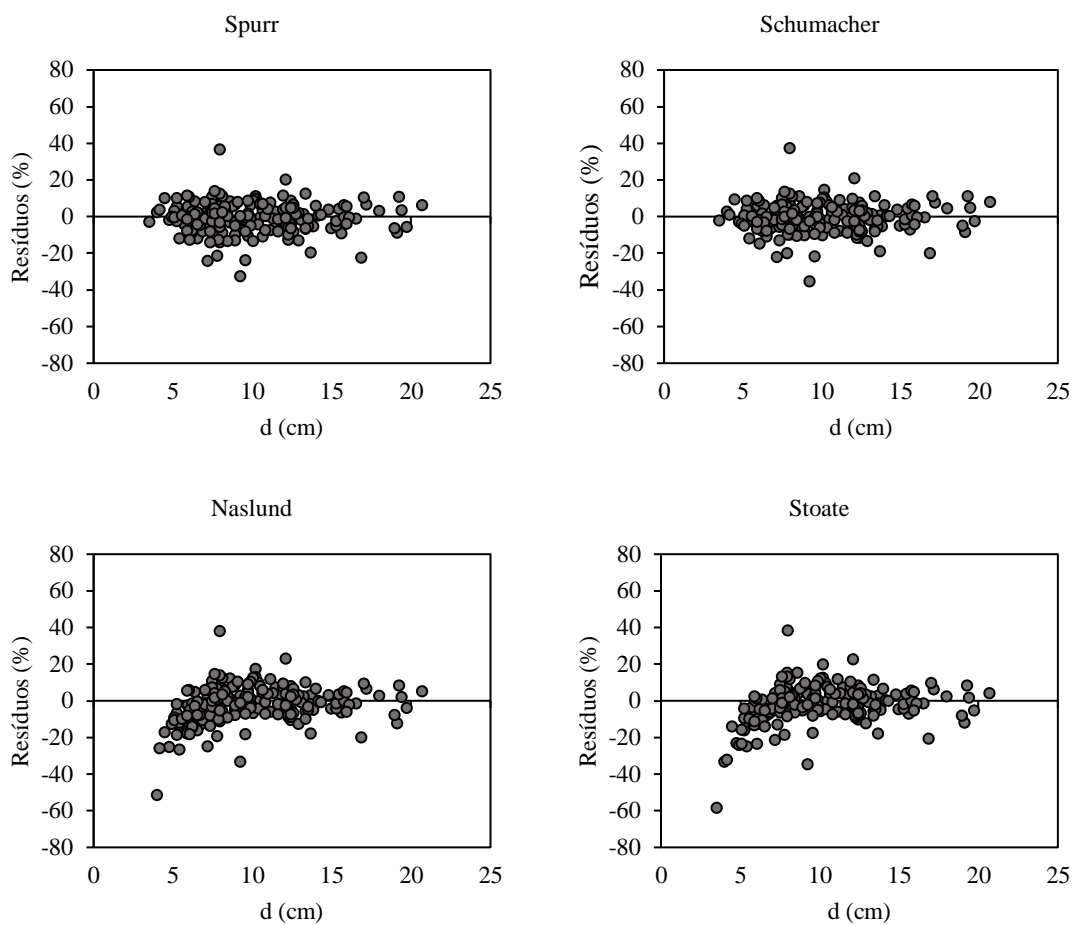
Em que:  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  = estimativas dos parâmetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$ ; IM = fator de correção de Meyer;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx\%}$  = erro padrão da estimativa em porcentagem

Na análise de variância da regressão, verificou-se que houve regressão, ou seja, ocorre uma relação entre as variáveis analisadas. No entanto, quando avaliados os coeficientes, observa-se que os coeficientes de  $b_0, b_1, b_3$  e  $b_4$  do modelo Näslund foram não significativos ( $\alpha \geq 0,05\%$ ), assim como os coeficientes  $b_0, b_1$  e  $b_3$  do modelo Stoate. Já os modelos Schumacher-Hall e Spurr, todos os coeficientes foram significativos (Tabela 2).

Desta forma, o modelo de Spurr demonstrou ser o mais adequado, pois a proporção da variação da variável Y (volume) que está sendo explicada em função da variável X (D e altura) é

considerada alta, conforme evidenciado pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj} = 0,9889$ ). E ainda, o erro médio (em porcentagem) associado ao uso do modelo considerado foi baixo ( $S_{xy} = 10,41$ ).

Na análise gráfica residual, observa-se que os modelos Naslund e Stoate apresentaram maior tendenciosidade em superestimar os volumes nas classes iniciais de diâmetro. Já os modelos de Schumacher-Hall e Spurr, foram os que apresentaram o melhor comportamento residual uma vez que, houve uma menor variação dos resíduos, ou seja, as estimativas geradas por esse modelo estão mais próximas do volume real (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição dos resíduos para os modelos testados em povoamentos florestais de acácia-negra, no município de Cristal – RS

Martins *et al.* (2020) testaram diferentes modelos para estimativa de volume de árvores de acácia-negra no Rio Grande do Sul, e observaram que dentre os modelos utilizados (sete), o modelo de Spurr se ajustou melhor aos dados, seguido pelo modelo de Schumacher-Hall.

Ao estudar povoamentos florestais de acácia-negra, Gomes (2017) também constatou que o modelo Spurr demonstrou-se mais adequado, conforme evidenciado pelas estatísticas de ajuste com maior coeficiente de determinação ajustado e menor erro padrão da estimativa, dentre seis modelos ajustados.

## CONCLUSÃO

Dessa forma, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi a equação de Spurr, seguida pela equação de Schumacher-Hall, tais informações podem auxiliar no planejamento, gestão e na tomada de decisão sobre o manejo e produtividade em povoamentos florestais de acácia-negra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Behling, A. **A produção de biomassa e o acúmulo de carbono em povoamentos de acácia negra em função de variáveis bioclimáticas**. 2014. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/35247>. Acesso em: 19 Mar. 2023.

Costa Junior, S. **Estoque e propriedade energética da biomassa de copa e fuste de *Acacia mearnsii* De Wild**. 2018. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/58106>. Acesso em: 29 Mar. 2023.

Costa Junior, S.; Silva, D. A.; Behling, A.; Koehler, H. S.; Simon, A. A.; Costa, A. Propriedades energéticas da biomassa de *Acacia mearnsii* De Wild. em diferentes idades e locais de cultivo. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, e3406, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.04>.

Costa, E. A.; Sequeira, M. C.; Marangon, G. P.; Martins, M. T.; Schons, C. T. Equações para variáveis dendrométricas em árvores singulares de *Pinus taeda* L. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 11, p.155-161, 2019. [https://doi.org/10.18677/Agrarian\\_Academy\\_2019a15](https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2019a15).

Gomes, J. P. **Equações de volume e biomassa para plantios de *Acacia mangium* Willd. em área de Savana em Roraima**. 2017. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Amazonas. 2017. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6703>. Acesso em: 11 Mar. 2023.

Martins, J. F. C.; Ribeiro, J. C.; Padilha, C. L.; Pelissari, A. L.; Behling, A.; Ribeiro, R. Modelagem Volumétrica de árvores de acácia-negra em Povoamentos de Regiões do Rio Grande do Sul. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 195-202, 2020. <https://doi.org/10.5380/biofix.v5i2.70066>.

Mochiutti, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul**. 2007. 286 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/10306>. Acesso em: 13 Mai. 2023.

Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 11, p. 49-83, 1961. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236/3310>. Acesso em: 21 Mai. 2023.

Sales, F. C. V.; Silva, J. A. A.; Ferreira, R. L. C. F.; Gadelha, H. L. Ajustes de modelos volumétricos para o clone *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivados no agreste de Pernambuco. **Floresta**, v. 45, n. 4, p.663-670, 2015. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i4.37594>.

Tonini, H.; Borges, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 111-117, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.738>.