AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA *Khaya senegalensis* NO SUDOESTE DA BAHIA

Sóstenes Teixeira Prado Santos[1]; Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia[2]; Robson Borges de Lima[2]; Maria Fernanda Reis dos Santos[1]; Lorena Dias Chagas[1]; Aldair Rocha Araujo[1]

[1] Graduando (a) em Engenharia Florestal, Engenheiro Florestal; Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. Email's: sostenes.teixeira1@gmail.com; mariafernandaflorestal@gmail.com; lorenadiaschagas@gmail.com; aldairrocha1@gmail.com
[2] Engenheiro (a) Florestal, Professor (a) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. Email's: patriciabarreto@uesb.edu.br; rbl_florestal@yahoo.com.br

RESUMO

Khaya senegalensis, espécie florestal conhecida popularmente como mogno-africano, apresenta crescente expansão no setor de florestas plantadas no Brasil, o que demanda ferramentas aplicadas à mensuração florestal desta espécie. O objetivo deste trabalho foi identificar o modelo volumétrico mais adequado para estimar o volume de árvores de *K. senegalensis* na região Sudoeste da Bahia. O estudo foi realizado em um povoamento comercial localizado no município de Vitória da Conquista, Bahia. Foram submetidas à cubagem rigorosa relativa, pelo método de Smalian, 38 árvores representativas das diferentes classes diamétricas. Os volumes obtidos na cubagem foram utilizados no ajuste dos modelos de Kozak, Schumacher e Hall, Spurr e Stoate. A escolha do melhor modelo foi feita com base nos seguintes critérios de precisão: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (Syx), raiz do erro quadrático médio (RMSE), viés (BIAS) e dispersão gráfica dos resíduos. Todos os modelos apresentaram bom desempenho, com R^2_{aj} superiores a 89%. Entretanto, o modelo de Stoate apresentou os melhores indicadores estatísticos, com R^2_{aj} de 95,48%, S_{yx} de 10,38%, RMSE de 0,0020 m³ e BIAS de 0,00032 m³, além de distribuição residual mais uniforme. Assim, o modelo de Stoate mostrou-se o mais adequado para estimar o volume de árvores de *K. senegalensis* nas condições estudadas, constituindo uma ferramenta confiável para aplicações em inventários florestais e no planejamento do manejo da espécie.

Palavras-chave: Inventário florestal; Modelagem volumétrica; Mogno-africano.

1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas de espécies de elevado valor comercial tem impulsionado o cultivo de madeiras nobres no Brasil, com destaque para o gênero

Khaya, que apresenta crescente expansão nacional, devido a qualidade da sua madeira (CARVALHO & FALESI, 2025).

A estimativa do volume é fundamental para o manejo florestal, porém sua obtenção direta é onerosa e destrutiva, pois depende da cubagem rigorosa das árvores (CAMPOS & LEITE, 2017). Assim, modelos volumétricos permitem estimar essa variável por meio de medidas de fácil obtenção, como diâmetro à altura do peito (D) e altura, reduzindo custos e tempo de inventário (LEÃO et al., 2021).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar modelos volumétricos para árvores jovens de *Khaya senegalensis* na região Sudoeste da Bahia, visando identificar o modelo mais adequado para a estimativa do volume individual das árvores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um povoamento localizado na comunidade de São Domingos, zona rural do município de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. Estabelecido em espaçamento de 3 × 3 m, com idade inicial de cinco anos e área total de 0,27 ha (2.700 m²). As mudas foram obtidas por via seminal, provenientes de sementes selecionadas. O plantio foi realizado a partir da abertura de covas de 40 × 40 cm, com a utilização de gel hidratante para retenção de umidade e adubação localizada.

2.2. Coleta e análise de dados

Realizou-se a cubagem rigorosa de árvores em pé, pelo método de Smalian de 38 árvores correspondentes a aproximadamente (11,4 %) do povoamento. As árvores foram selecionadas de forma a representar a distribuição das classes diamétricas, considerando-se D (Diâmetro altura do peito) mínimo de 5 cm. Para a cubagem, utilizou-se o método relativo, no qual o fuste foi dividido em seções variando de 10% em 10% da altura total (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100%). Em cada seção, os diâmetros foram mensurados com a suta, assim como o DAP (1,30 m), e a altura total determinada com hipsômetro Haglöf.

Posteriormente, os volumes obtidos foram utilizados para o ajuste e a avaliação dos modelos volumétricos (Tabela 1). A seleção dos modelos foi baseada nos critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj} %), erro padrão da estimativa (S_{yx}%), raiz do erro quadrático médio (RMSE), viés (BIAS), e distribuição gráfica dos resíduos.

TABELA 1. Modelos matemáticos testados para a estimativa do volume de *Khaya senegalensis* para o sudoeste da Bahia.

Modelo	Forma do modelo
Kozak (1969)	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1 ln\,(DAP2H)$
Schumacher e Hall (1933)	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1 ln(DAP) + \beta 2 ln(H)$
Stoate (1945)	$V = \beta 0 + \beta 1 (DAP2H) + \beta 2 H + \beta 3 DAP$
Spurr (1952)	$V = \beta 0 + \beta 1 (DAP2H)$

Em que: D = diâmetro médio à altura do peito; H = altura ; V = volume.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos volumétricos avaliados apresentaram bom desempenho para estimar o volume de *K. senegalensis*, com coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) superiores a 89% (Tabela 2). Entretanto, observou-se diferença em sua precisão, com melhor ajuste do modelo de Stoate (1945), que teve R^2aj de 95,48%, S_{yx} de 10,38%, RMSE de 0,0020 m³ e BIAS de 0,00032 m³, indicando maior capacidade preditiva e menor erro de estimativa em relação aos demais modelos. Modelos com maiores valores de R^2_{aj} e menores valores de RMSE e S_{yx} (%) são mais precisos (ALÓ et al., 2024).

TABELA 2. Parâmetros estatísticos dos modelos de volume testados para *Khaya senegalensis.*

Modelo	R^2_{aj} (%)	S_{yx} (%)	RMSE	BIAS
Kozak (1969)	92,88	15,63	0,0020	0,00034
Schumacher e Hall (1933)	91,46	16,78	0,0074	0,00038
Stote (1945	95,48	10,38	0,0020	0,00032
Spurr (1952	89,82	15,57	0,0029	0,00045

A dispersão gráfica dos resíduos demonstrou diferenças no comportamento dos modelos ao longo da amplitude diamétrica. Os modelos de Stoate (1945) e Spurr (1952) apresentaram tendência curvilínea dos resíduos em função do DAP, indicando possível viés sistemático em determinadas classes diamétricas. Em contraste, os modelos de Kozak (1969) e Schumacher e Hall (1933) mostraram distribuição residual mais aleatória em torno da linha zero, embora com maior dispersão em alguns intervalos de DAP. Apesar dessas diferenças na análise residual, o modelo de Stoate (1945) apresentou os melhores indicadores estatísticos de ajuste e precisão, evidenciando a importância da avaliação conjunta dos critérios gráficos e numéricos na seleção do modelo. (Figura 1).

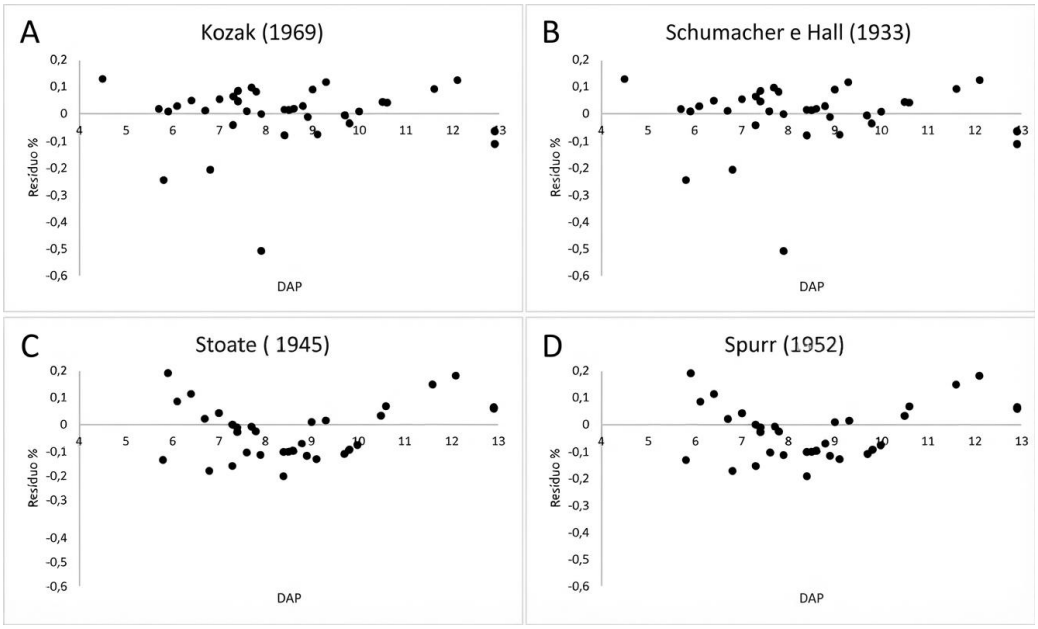


FIGURA 1. Dispersão dos resíduos em porcentagem (%) em relação ao D das árvores de *Khaya senegalensis* referentes aos modelos testados: (A) Kozak (1969), (B) Schumacher e Hall (1933), (C) Stoate (1945), e (D) Spurr (1952).

O modelo de Stoate também apresentou o melhor desempenho na estimativa do volume de outras espécies florestais, como *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pterogyne nitens*, na mesma região do presente estudo (MELO et al., 2013; FRAGA et al., 2014). Os resultados corroboram a seleção do modelo para estimar o volume de *Khaya senegalensis* nas condições estudadas. O modelo apresentou bom desempenho quanto à precisão e aos indicadores de ajuste, demonstrando potencial

para estimar o volume de madeira em povoamentos comerciais jovens da espécie sob condições semelhantes. Assim, a equação selecionada foi:

$$V = -0{,}007508 + 0{,}001807(DAP^2H) + 0{,}000220\,H + 7{,}21 \times 10^{-7}DAP$$

4. CONCLUSÃO

O modelo de Stoate (1945) apresenta o melhor desempenho para estimar o volume de árvores jovens de *Khaya senegalensis* no sudoeste da Bahia, informação revelada pelos melhores resultados dos parâmetros estatísticos

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÓ, L. L.; LE MAIRE, G.; THIERSCH, C. R.; SILVA, A. R.; CAMPOE, O. C.; RODRIGUES, C. K.; FERRAZ FILHO, A. C.; PULROLNIK, K.; GAVA, J. L.; STAPE, J. L. Mapping stem volume in fast-growing eucalypt plantations: integrating spectral, textural, and temporal remote sensing information with forest inventories and spatial models. **Annals of Forest Science,** v. 81, art. 43, 2024.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

CARVALHO, J. E. U.; FALESI, I. C. **O mogno-africano no Brasil: introdução, expansão do cultivo e identificação das espécies introduzidas pela Embrapa Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2025. (Documentos, 501). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176109. Acesso em: 13 jul. 2026.

FRAGA, M. P.; BARRETO, P. A. B.; PAULA, A. Estimação de volume de *Pterogyne nitens* em plantio puro no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 207–215, 2014.

LEÃO, F. M.; NASCIMENTO, R. G. M.; EMMERT, F.; SANTOS, G. G. A.; CALDEIRA, N. A. M.; MIRANDA, I. S. How many trees are necessary to fit an accurate volume model for the Amazon forest? A site-dependent analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 480, p. 118652, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118652.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira,** Colombo, v. 33, n. 76, p. 379–386, 2013.