



## ESTIMAÇÃO DA ALTURA TOTAL DE ÁRVORES EM PLANTIOS DE *Khaya grandifoliola* NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO COM MODELOS HISPOMÉTRICOS GENÉRICOS

Larissa Lara Moreira da Silva Freitas<sup>1</sup>, Matheus da Silva Pacheco<sup>1</sup>, Rodrigo Otávio Veiga de Miranda<sup>1</sup>, Lidiomar Soares da Costa<sup>1</sup>, Alvaro Augusto Vieira Soares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Minas Gerais. E-mail: larissalaraengfl@gmail.com

**RESUMO:** *Khaya grandifoliola* é a espécie de mogno africano mais cultivada no Brasil e sua importância na silvicultura nacional vem crescendo consistentemente. Os estudos sobre a relação de variáveis dendrométricas e sua modelagem são imprescindíveis para o desenvolvimento de modelos capazes de estimar com precisão variáveis de interesse. Assim, o objetivo deste trabalho foi testar modelos hipsométricos genéricos para a estimação da altura de árvores de *Khaya grandifoliola* em povoamentos puros. Para isso, foram utilizados dados de inventário florestal realizado em três fazendas de plantios de mogno africano na região do Triângulo Mineiro. Para a modelagem da relação hipsométrica foram testados cinco modelos que, além do dap como preditor, incluem outras variáveis em nível do povoamento. As estatísticas de qualidade de ajuste raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM), média das diferenças absolutas (MDA) e coeficiente de correlação de Pearson entre os valores observados e estimados ( $r_{Y\hat{Y}}$ ), foram utilizadas para comparar os modelos. Os modelos genéricos testados foram eficazes e acurados para estimar a altura total de árvores de *Khaya grandifoliola* nos povoamentos estudados. Os modelos denominados Scolforo 1 e o Scolforo 2 obtiveram melhor qualidade de ajuste e estimativas mais acuradas dentre os modelos testados. Por fim, evidenciou-se a melhor capacidade preditiva para os modelos contendo mais variáveis explicativas.

**Palavras-chave:** hipsometria, modelagem florestal, mogno africano

### INTRODUÇÃO

Os mognos africanos chegaram ao Brasil na década de 70, com seus primeiros plantios realizados na região norte do país. A madeira de tom rosado e castanho-avermelhado, além de chamar a atenção pelo aspecto estético, possui alta durabilidade natural, boas propriedades mecânicas, fácil manuseio e secagem (IBF, 2022).

A silvicultura e manejo dessa espécie ainda se encontram em fase inicial em comparação com espécies tradicionalmente cultivadas no Brasil, como os *Eucalyptus* e *Pinus*. É necessário



que se avalie o comportamento dessa espécie em diferentes condições ambientais e de manejo para que sejam traçadas referências de prescrições silviculturais. Uma relação muito importante nas ciências florestais é a relação entre a altura total da árvore e o diâmetro do tronco a 1,30 m solo (dap), conhecida como relação hipsométrica. Vários modelos estatísticos podem adequar-se à relação hipsométrica. Os chamados modelos hipsométricos genéricos têm como variável preditora, além do dap, variáveis em nível de povoamento, como área basal, densidade do povoamento, altura dominante e diâmetro médio.

Dentre a gama de opções para a modelagem da altura, é essencial que se opte por modelos que sejam os mais acurados possível, pois suas estimativas serão usadas para a estimação do volume das árvores, valores que serão base para a tomada de decisão de prescrições silviculturais e para o planejamento da produção. Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes modelos genéricos da altura de árvores de *Khaya grandifoliola* cultivadas em povoamentos puros.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para a execução do projeto são provenientes de um inventário de três fazendas com povoamentos puros, não desbastados, de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) na região do Triângulo Mineiro, Minas Gerais. As fazendas foram denominadas como Fazendas A, B e C, e possuem áreas com plantio de mogno africano de 78,34 ha, 279,06 ha e 239,17 ha, com idades de aproximadamente seis, doze e nove anos, respectivamente. Foram alocadas nove unidades amostrais retangulares de 2.880 m<sup>2</sup> para a fazenda e, para as fazendas B e C, unidades amostrais quadradas 900 m<sup>2</sup> nas quantidades de 33 e 27, respectivamente.

As circunferências à altura do peito – a 1,30 m do solo (cap) – foram medidas em todas as árvores dentro das unidades amostrais com o auxílio de uma fita métrica. Posteriormente, a cap foi convertida em diâmetro (dap), dividindo-a pela constante  $\pi$ . Além da cap, a altura total (ht) das 15 primeiras árvores por unidade amostral foi medida, utilizando-se um clinômetro Haglöf, modelo ECDII. Para a modelagem da relação hipsométrica cinco modelos genéricos foram testados (Tabela 1). O ajuste destes modelos foi realizado pelo método dos mínimos quadrados ordinários, utilizando os dados das 1502 árvores que tiveram sua cap e ht medidas.

Tabela 1. Modelos testados para modelar a altura total (ht) de árvores em plantios puros de *Khaya grandifoliola* na região do Triângulo Mineiro

Denominação	Modelo
Campos Näsrlund generalizado	$ln(ht) = \beta_0 + \beta_1(1/dap) + ln(Hd) + \varepsilon$ $ht = 1,3 + \frac{dap^2}{(\beta_0 + \beta_1 \overline{dap} + \beta_2 dap + \beta_3 \overline{dap} dap)^2} + \varepsilon$
Scolforo 1	$ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{Id} + \beta_2 ln(Hd) + \beta_3 ln(dap) + \beta_4 ln(G) + \beta_5 ln(dg \times Id) + \varepsilon$
Scolforo 2	$ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 ln(Hd) + \beta_2 ln\left(\frac{dg}{dap}\right) + \beta_3 \left(\frac{1}{Id dap}\right) + \beta_4 \left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
Amateis	$ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{Id} + \beta_2 ln(Hd) + \beta_3 \frac{1}{dap} + \beta_4 ln(G) + \beta_5 ln(N) + \varepsilon$

Em que: ht = altura total, em cm; dap = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm; Hd = média aritmética das alturas das 100 árvores mais grossas por hectare, em m; G = área basal, ou seja, soma das áreas seccionais das árvores à 1,30 m do solo de cada unidade amostral, extrapolada para um hectare, em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; Id = idade do plantio, em meses; N = densidade do povoamento, expressa pela quantidade de plantas por hectare, em árvores ha<sup>-1</sup>;  $\overline{dap}$  = média aritmética dos diâmetros das árvores dentro da unidade amostral, em cm; dg = diâmetro médio quadrático das árvores dentro da unidade amostral, em cm;  $\beta$ 's = parâmetros a serem estimados;  $\varepsilon$  = o erro aleatório.

Para a comparação dos modelos, as estatísticas de qualidade de ajuste utilizadas foram: raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM), média das diferenças absolutas (MDA) e coeficiente de correlação de Pearson entre os valores observados e estimados ( $r_{Y\hat{Y}}$ ), calculadas a partir das fórmulas abaixo:

$$RQEM = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad MDA = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad r_{Y\hat{Y}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}}$$

Em que  $y_i$  = altura observada;  $\bar{y}$  = média da altura observada;  $\hat{y}_i$  = altura estimada;  $\bar{\hat{y}}$  = média da altura estimada; e n = número de observações.

Foram considerados melhores os modelos que apresentarem menores valores de RQEM e MDA, indicando menores erros médios da estimativa, além de maiores valores de  $r_{Y\hat{Y}}$ , indicando maior correlação entre valores observados e estimativas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os modelos geraram estimativas com acurácia compatível aos relatos da literatura, como demonstrado por Soares et al. (2004). O modelo Scolforo 1 foi o mais acurado, apresentando menor RQEM de 12,76%, menor MDA, de 1,42 m e maior  $r_{Y\hat{Y}}$  de 0,90, conforme



observado na Tabela 2. O modelo Scolforo 2 gerou estatísticas de qualidade ligeiramente inferiores àquele. Ao se comparar as estruturas dos modelos, pode-se observar uma relação de maior acurácia quanto mais variáveis explicativas presentes no modelo. Isto sugere que, ao usar modelos genéricos, o modelador deve atentar-se às características da área que podem afetar a relação entre o diâmetro e a altura, mensurar variáveis representativas destas características e buscar modelos que contemplem estas variáveis ou incorporá-las a modelos que não as contemplem.

Tabela 2. Estatísticas de qualidade de ajuste para modelos hipsométricos genéricos avaliados para dados de três fazendas de plantios de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) no Triângulo Mineiro

Modelo	RQEM (%)	MDA	$r_{Y\hat{Y}}$
Campos	15,09	1,72	0,86
Näslund generalizado	14,56	1,67	0,87
Scolforo 1	12,76	1,42	0,90
Scolforo 2	12,96	1,47	0,90
Amateis	14,76	1,66	0,87

RQEM (%) = raiz quadrada do erro médio percentual; MDA = média das diferenças absolutas;  $r_{Y\hat{Y}}$  = coeficiente de correlação de Pearson entre os valores observados e estimados de altura total.

## CONCLUSÕES

Os modelos genéricos testados foram eficazes e acurados para estimar a altura total de árvores de *Khaya grandifoliola* aos 5, 9 e 12 anos de idade na região do Triângulo Mineiro. Os modelos denominados Scolforo 1 e o Scolforo 2 obtiveram melhor qualidade de ajuste e estimativas mais acuradas dentre os modelos testados. Por fim, evidenciou-se a melhor capacidade preditiva para os modelos contendo mais variáveis explicativas.

## REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS (IBF). **Mogno Africano**. Londrina, 2022. Disponível em: < <https://www.ibflorestas.org.br/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

SOARES, T. S. *et al.* Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6. p. 845-854, 2004.