



## AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMAÇÃO DE VOLUME DE

### *Khaya ivorensis* A. CHEV.

Mikaely Vasconcelos Paulo<sup>1</sup>, Estefany Vaz Brisson<sup>1</sup>, Jeferson Pereira Martins Silva<sup>2</sup>,  
Gilberto Terra Ribeiro Alves<sup>2</sup>, Lucas Dantas Denny<sup>2</sup>

1 Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: mikaelyvasconcelos@hotmail.com; estefany.brisson@gmail.com

2 Courageous Land, Valença, Bahia, Brasil. E-mail: jeferson@courageousland.com; gilberto@courageousland.com; lucas@courageousland.com

Autora correspondente: Mikaely Vasconcelos Paulo. E-mail: mikaelyvasconcelos@hotmail.com.

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo comparar as estimativas de volume obtidas pelos modelos de Spurr, Schumacher, Takata e Stoate em relação ao volume cubado de indivíduos da espécie *Khaya ivorensis* A. Chev. Foram cubadas 55 árvores estabelecidas em um sistema agroflorestal na fazenda Sucupira Agroflorestas, situada em Valença-BA. O desempenho dos modelos foi avaliado pelo erro absoluto da estimativa ( $S_{yx}$ ); erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}$  (%)); correlação entre valores observados e os estimados ( $r$ ) e gráfico da relação entre o volume observado e estimado. Os ajustes realizados apresentaram resultados satisfatórios, exibindo dispersão semelhante entre ambos os volumes. No entanto, os modelos com menores erros foram o de Schumacher-Hall para o volume total e o modelo de Spurr para o volume comercial.

**Palavras-chave:** Cubagem rigorosa; sistemas agroflorestais; volume

## ADJUSTMENT OF MODELS FOR VOLUME ESTIMATION OF

### *Khaya ivorensis* A. CHEV.

### ABSTRACT

*This study aimed to compare the volume estimates obtained by the Spurr, Schumacher, Takata, and Stoate models in relation to the cubed volume of individuals of the *Khaya ivorensis* A. Chev species. A total of 55 trees were measured, established in an agroforestry system at Sucupira Agroforests farm, located in Valença-BA, Brazil. The performance of the models was evaluated using the absolute error of the estimate ( $S_{yx}$ ); the percentage standard error of the estimate ( $S_{yx}$  (%)); the correlation between observed and estimated values ( $r$ ), and a graph depicting the relationship between observed and estimated volumes. The adjustments made showed satisfactory results, displaying a similar dispersion between both volumes. However, the models with the lowest errors were Schumacher-Hall for total volume and the Spurr model for commercial volume.*

**Key words:** Rigorous cubing; agroforestry systems; volume

## ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



## INTRODUÇÃO

Dentre as atividades realizadas na mensuração florestal, a obtenção do volume do fuste das árvores é fundamental para auxiliar no planejamento e no dimensionamento da produção de madeira, representando uma informação essencial para a tomada de decisão. A quantificação do volume real pode ser realizada por diferentes métodos, sendo o mais usual a cubagem rigorosa, cujos dados permitem o ajuste de modelos volumétricos e de afilamento (Batista *et al.*, 2014).

Com o estudo da forma das árvores, algumas expressões matemáticas foram desenvolvidas para a determinação do volume com ou sem casca do fuste das árvores, como o de Huber, Smalian e Newton (Mata Nativa, 2023). Atuando como uma ferramenta essencial na determinação de volume, a cubagem rigorosa consiste em obter os dados quantitativos do volume com medidas sucessivas do diâmetro ao longo do fuste. O volume calculado pode ser usado em nível de povoamento, e também aferido de forma individual (Thomas *et al.*, 2006). Os métodos de cubagem rigorosa mais comumente utilizados são o de Smalian e Huber, principalmente pela facilidade do uso das fórmulas (Nicoletti, 2011), em que utilizam a altura e diâmetro para fornecer estimativas confiáveis de volume (Silva *et al.*, 2009).

Diante disso, objetiva-se comparar as estimativas de volume total e do fuste comercial geradas pelos modelos de Spurr, Schumacher, Takata e Stoate em relação ao volume cubado de árvores da espécie *Khaya ivorensensis* A. Chev.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Sucupira Agroflorestas, propriedade rural situada na microrregião do Baixo Sul baiano, no município de Valença (Figura 1), sob as coordenadas 0466283 m; 8526145 m, zona 24L.

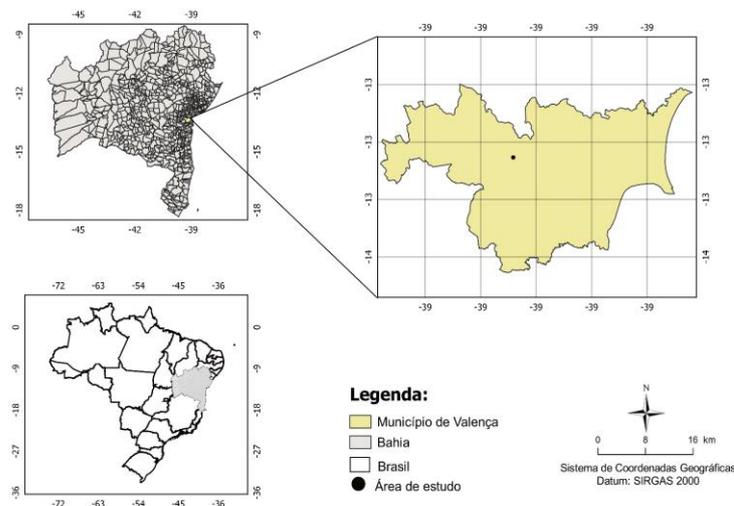


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

### Coleta de dados

Para a realização da cubagem rigorosa, foram abatidos 55 indivíduos arbóreos da espécie *Khaya ivorensis*, selecionados de forma aleatória e distribuídos em diferentes classes diamétricas. Até o momento da cubagem, os indivíduos estavam com 7 anos de idade. Os métodos de obtenção de volume das seções foram Smalian para o fuste e Huber para os galhos.

### Ajuste de modelos volumétricos

Dois modelos foram utilizados para o ajuste de volume total das árvores cubadas, bem como o modelo proposto por Schumacher-Hall e o modelo proposto por Spurr.

**Tabela 2.** Modelos volumétricos ajustados para obtenção de volume total e comercial

Número	Modelo	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot (D^2 \cdot H) + \varepsilon$	Spurr
2	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2 + \beta_2 \cdot (D^2 \cdot H) + \beta_3 \cdot H + \varepsilon$	Stoate
3	$V = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher
4	$V = D^2 \cdot H / (\beta_0 + \beta_1 \cdot D) + \varepsilon$	Takata

Em que: V = volume total individual (m<sup>3</sup>); D = diâmetro a 1,30m do solo (cm); H = altura total (m);  $\beta_j$  = parâmetros dos modelos.

A comparação entre os modelos foi feita a partir das seguintes medidas de precisão: Erro absoluto da estimativa ( $S_{yx}$ ); erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}(\%)$ ); correlação entre valores observados e as estimativas (r) e distribuição gráfica dos valores de volume observado e os valores estimados. Os ajustes foram realizados no *Software R*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises descritivas para as variáveis coletadas em campo são apresentadas na Tabela 3. Os valores da Tabela 4, referem-se aos coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos com o ajuste de quatro modelos testados para a estimação de volume comercial (Vc) e volume total (Vt), em função do D e altura.

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas para as variáveis coletadas em campo

Estatísticas descritivas	Variáveis			
	D	H	V	Vm
Mínimo	6,84	5	0,0083	0,0083
Média	12,34	8,71	0,0435	0,0315
Máximo	18,97	13	0,1838	0,1127
Coefficiente de Variação (%)	20,13	17,37	64,57	54,83

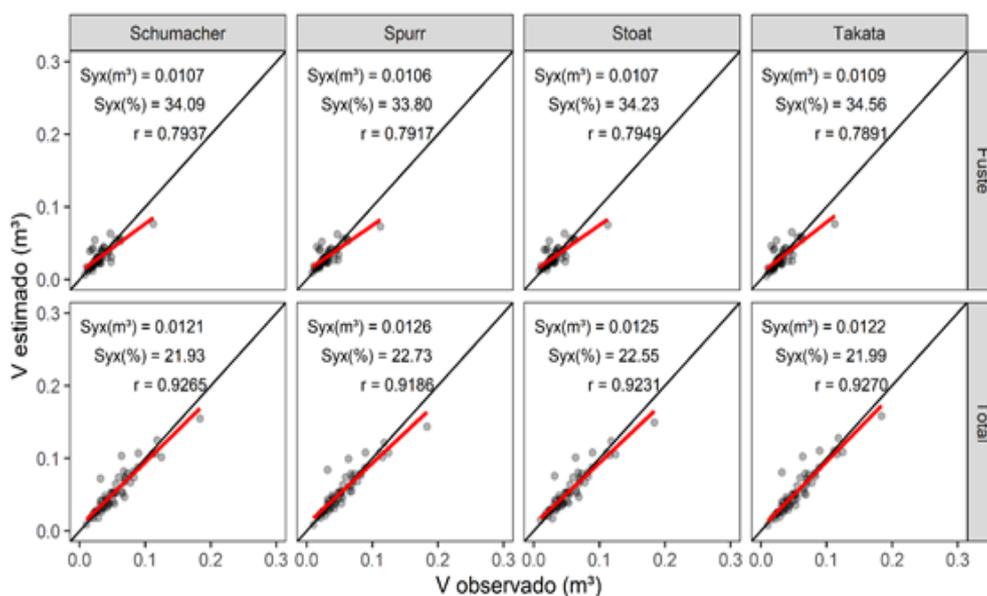
Em que: D = diâmetro a 1,30m do solo (cm); H = altura total (m); V = volume total individual (m<sup>3</sup>); Vm = volume comercial individual (m<sup>3</sup>);

**Tabela 4.** Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimativa de volume

Modelo	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	r
Spurr	-0,000923421	0,00003937057***			22,73	0,9186
Stoate	0,02131802	-3,08.10 <sup>-5</sup>	0,00004683903*	-0,00322	22,55	0,9231
Schumacher	0,00003211405*	2,379721*	0,6360542*		21,93	0,9265
Takata	34541,15*	-597,1274*			21,99	0,927
Volume comercial						
Spurr	0,004947629*	0,00001852703*			33,80	0,7917
Stoate	0,01358024	-6,45.10 <sup>-6</sup>	2,10.10 <sup>-5</sup>	-0,00128	34,23	0,7949
Schumacher	0,00005965375*	2,044623*	0,4908281*		34,09	0,7937
Takata	43597*	235,0859*			34,56	0,7891

Em que: S<sub>yx</sub>(%) = Erro padrão da estimativa em porcentagem. r = Correlação entre valores observados e as estimativas. b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = estimativas dos parâmetros dos modelos.

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que os quatro modelos testados apresentaram desempenhos estatísticos satisfatórios referente aos valores de  $r$ , variando de 0,91 a 0,92 no volume total e 0,78 a 0,79 no volume comercial, significando que houve uma variabilidade observada do volume entre os valores observados e estimados. Os erros padrões de estimativa oscilaram de 21,93% a 22,73% no volume total e 33,8% a 34,56% no volume comercial. Os valores do erro absoluto apresentaram valores dentro do esperado, sendo o mais baixo no modelo de Schumacher no volume total e modelo de Spurr no volume comercial.



**Figura 2.** Distribuição da correlação entre valores estimados e observados dos modelos de Schumacher, Spurr, Stoat e Takata.

O uso do modelo de Schumacher-Hall para estimar o volume em função do diâmetro e da altura total das árvores, por sua boa precisão, é citado em diferentes estudos, como Azevedo *et al.* (2011) e Almeida *et al.* (2020) quando comparado com outros modelos volumétricos.

De maneira geral, a distribuição gráfica das dispersões (Figura 2) não demonstraram tendências, o que revela que a avaliação das estatísticas de precisão utilizadas pode proporcionar uma seleção adequada de modelos de ajuste para a estimativa de volume em função do DAP e altura. Tanto para o volume comercial como o total, os modelos apresentaram distribuição semelhante em relação a dispersão gráfica, onde a análise de resíduos obteve amplitudes pouco distintas e sem tendências dentro das limitações dos dados obtidos.

## CONCLUSÃO

As equações volumétricas apresentaram ajustes satisfatórios, com valores elevados de  $r$ , baixos erros ( $S_{yx}$ ) e análise de resíduos com amplitudes pouco distintas e sem tendências nos dados obtidos, ocorrendo uma distribuição semelhante em todos os modelos de ajuste em ambos volumes. Com tudo, para o volume total o modelo de Schumacher-Hall conteve menos erros e o modelo de Spurr para o volume comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. R. D.; Silva, J. N. M.; Barros, P. L. C.; Almeida, E. S.; Silva, D. A. S.; Sousa, C. S. C. Ajuste e seleção de modelos volumétricos de espécies comerciais no município de Ipixuna (PA). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p.259-278, 2020. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p259-278>.
- Azevedo, G. B.; Sousa, G. T. O., G. T.; Barreto, P. A. B.; Conceição Júnior, V. C. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p.309-318, 2011. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.309>.
- Batista, J. L. F.; Couto, H. T. Z.; Silva Filho, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.
- Farias, K. J.; Nicoletti, M. F.; Aguiar, N. S. Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p.33-40, 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019033>.
- Machado, D. E; Figueiredo Filho, A.F. **Dendrometria**. Curitiba: Os Autores, 2003. 309p.
- Mata Nativa. **Volumetria e o ajuste de equações volumétricas**. Disponível em: <https://matanativa.com.br/volumetria-e-o-ajuste-de-equacoes-volumetricas/>. Acesso em: 15 Abr. 2023.
- Nicoletti, M. F. **Comparação dos Métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa**. 2011. 83f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, Piracicaba, 2011. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19102011-093910/publico/Marcos\\_Felipe\\_Nicoletti.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19102011-093910/publico/Marcos_Felipe_Nicoletti.pdf). Acesso em: 29 Mai. 2023.
- Santos, F. M. **Sistemas agroflorestais sucessionais com mogno-africanos: aspectos silviculturais e recuperação de funções ecossistêmicas**. 2019. 175p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/5031>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- Schröder, T.; Pereira, L. D.; Hofiço, N. S. A. Comparação de métodos de estimativa de volume total para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p.480-486, 2013. <https://doi.org/10.4322/foram.2013.041>.
- Scolforo, J. R. S. **Biometria florestal**: Parte I: modelos de regressão linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA; FAEPE, 2005. 393p.
- Silva, M.L.M.; Binoti, D.H.B.; Gleriani, J.M.; Leite, H.G. Ajuste do Modelo de Schumacher e Hall e Aplicação de Redes Neurais Artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p.1133-1139, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000600015>.
- Souza, H. S.; Drescher, R.; Vendruscolo, D. G. S.; Moura, J. P. V. M.; Siqueira, T. A. S.; Mamoré, F. M. D. Comparação de cubagem para eucalipto. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 35, n. 1, p.17-26, 2017. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/BBJ/article/download/292/84>. Acesso em: 31 Mai. 2023.
- Sternadt, G.H. **Cubagem de toras de mogno: comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras**. Brasília: IBAMA, 2001. 100p. Disponível em: <https://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/CUBAGEM%20DE%20TORAS.pdf>. Acesso em: 29 Mai. 2023.
- Thomas, C.; Andrade, C. M.; Schneider, P. R.; Finger, C. A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p.319-327, 2006. <https://doi.org/10.5902/198050981911>.