

## COMPRIMENTOS DE SEÇÃO NA CUBAGEM RIGOROSA DE EUCALIPTAIS IMPLANTADOS SOB ARRANJO RETANGULAR

Heloísa Brenda Xavier Rodrigues<sup>1</sup>; Luis Henrique de Andrade Guimaraes<sup>2</sup>; Ewerton Luís da Silva Oliveira<sup>2</sup>; Carlos Henrique Lopes Ribeiro<sup>2</sup>; Ivan da Costa Ilhéu Fontan<sup>3</sup>, Bruno Oliveira Lafeta<sup>4</sup>

1 Bolsista CNPq, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG; [helobrenda25@gmail.com](mailto:helobrenda25@gmail.com)

2 Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

3 Coorientador: Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; [ivan.fontan@ifmg.edu.br](mailto:ivan.fontan@ifmg.edu.br)

4 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; [bruno.lafeta@ifmg.edu.br](mailto:bruno.lafeta@ifmg.edu.br)

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do comprimento de seções para a quantificação volumétrica de fustes de eucalipto implantados sob arranjo espacial de 3,0 x 2,0m. Os dados foram provenientes de povoamentos do híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *E. camaldulensis* Dehnh, estabelecidas em dezembro de 2002 no município de Itamarandiba – MG. O clima predominante na região é do tipo Cwa, segundo o sistema internacional de Köppen, com invernos amenos e secos e verões quentes e chuvosos. As médias anuais de temperatura e precipitação durante a rotação foram de 20,2°C e 1.062mm, respectivamente. Os volumes dos fustes com casca foram calculados utilizando-se a fórmula de Smalian, considerando seções de 1, 2, ..., 6m de comprimento após a posição de 2m de altura. As posições de cubagem da base foram padronizadas. O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado para a estimativa do erro percentual do volume em função do comprimento de seções. A modelagem resultou nos valores de 0,5506 para o parâmetro  $\alpha$ , de 7050,6245 para  $\beta$  e de 3,0560 para  $\gamma$  (MDA = 0,01390 e RQEM = 0,0166). A curva obtida evidenciou o comportamento sigmoidal do erro percentual do volume, aumentando em função do comprimento das seções a partir da posição de 2m de altura. O erro percentual do volume apresentou uma fase de crescente incremento médio a partir de 2,15m até o ponto de inflexão 2,90m e tendência de estabilização em 3,65m. Apesar de que a maioria dos erros concentraram em torno de -5 a 5%, notou-se tendência a superestimação volumétrica com o aumento do tamanho, especialmente a partir do comprimento de 3m. Conclui-se que o comprimento de seção adotada na cubagem rigorosa influencia a determinação volumétrica de fustes. Seções mais longas levam a superestimativas do volume acima da posição de 2m de altura e, conseqüentemente, do volume total do fuste.

### INTRODUÇÃO:

A quantificação do volume individual de fustes é uma etapa fundamental na rotina do mensuracionista, cuja qualidade da execução é capaz de influenciar a tomada de decisões e administração de recursos florestais. O volume de um fuste pode ser matematicamente expresso pela sua relação com a área seccional, altura e forma, os quais variam de acordo com a idade, genótipo, práticas silviculturais e características inerentes ao sítio (SOUZA et al., 2017; MIGUEL et al., 2018; MCTAGUE; WEISKITTEL; 2020; SALEKIN et al., 2021).

A fórmula de Smalian, que se pauta em relação multiplicativa da média de áreas seccionais entre extremidades de seção e seu respectivo comprimento, é a mais adotada para o cálculo do volume de seções em cubagens rigorosas (MIGUEL et al., 2018). É conveniente salientar que essa fórmula aproxima a forma de cada seção a um sólido truncado correspondente a um parabolóide quadrático, cuja versão não truncada resulta na metade do volume de um cilindro (BATISTA et al., 2014; AKPO et al., 2021; KOIRALA et al., 2021). Embora haja muitas pesquisas acerca da cubagem, ainda persistem dúvidas sobre a quantificação volumétrica individual assumindo diferentes comprimentos de seção. Nesse sentido, a modelagem e a análise da acurácia volumétrica se torna essencial para a definição de critérios específicos para a melhoria da cubagem rigorosa.

O comprimento de seções é uma métrica importante para a aplicação da fórmula de Smalian. Tal comprimento é muitas vezes definido de forma arbitrária ou por conveniência, sendo o mais adotado seções com intervalos regulares de 1 ou 2m de comprimento (SANQUETTA et al., 2014; SOUZA et al., 2017; MIGUEL et al., 2018). Em geral, intensificam-se medições de diâmetro próximo a base de fustes, onde se tem maiores desvios de seção e concentra maior porção volumétrica lenhosa (CAMPOS; LEITE, 2017).

Informações volumétricas podem ser influenciadas pelo procedimento adotado na cubagem rigorosa, pequenas diferenças no comprimento da seção podem modificar e comprometer a determinação do volume de fustes. A definição de tal comprimento deve ser vista com bastante cautela para se evitar tendenciosidades volumétricas devido à escolha equivocada do procedimento de cubagem rigorosa. Ressalta-se a importância de que o comprimento de seção escolhido controle ao máximo o efeito da conicidade de fustes, sem, contudo, comprometer o rendimento operacional do inventário florestal.

Mediante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do comprimento de seções para a quantificação volumétrica de fustes de eucalipto implantados sob arranjo espacial de 3,0 x 2,0m.

## METODOLOGIA:

Os dados foram provenientes de povoamentos do híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *E. camaldulensis* Dehnh, estabelecidas em dezembro de 2002 no município de Itamarandiba – MG. O clima predominante na região é do tipo Cwa, segundo o sistema internacional de Köppen, com invernos amenos e secos e verões quentes e chuvosos. As médias anuais de temperatura e precipitação durante a rotação foram de 20,2°C e 1.062mm, respectivamente (INMET, 2022).

A implantação florestal foi realizada sob arranjo espacial de plantio 3,0 x 2,0 m, em área de relevo plano, Latossolo Vermelho e a 1.097 m de altitude. Obtiveram-se as informações de diâmetro com casca a 1,30m do solo (DAP, cm) com auxílio de suta. Aos 101 meses foram abatidos 40 fustes para a cubagem rigorosa, distribuídos na amplitude diamétrica de 7,6 a 17,5cm. Os diâmetros com casca foram medidos com suta nas seguintes posições: 0,1; 0,3; 0,7; 1,0; 1,3 e 2,0m, e a partir deste ponto, em intervalos regulares de 1,0m até a posição com diâmetro de 2cm.

Para a quantificação volumétrica individual dos fustes, testaram-se seis comprimentos de seções acima da posição de 2m de altura. Os comprimentos de seção foram assim discriminados: C1) cubagem de referência – medição em intervalos regulares de 1m; C2) medição em intervalos regulares de 2m; C3) medição em intervalos regulares de 3m; C4) medição em intervalos regulares de 4m; C5) medição em intervalos regulares de 5m e; C6) medição em intervalos regulares de 6m. A última seção do fuste, isto é, em seu do topo, foi realizada até a posição com diâmetro de 2cm.

O volume das seções foi calculado empregando a fórmula clássica de Smalian, que se baseia na relação multiplicativa entre o comprimento de seção e a média aritmética das áreas seccionais em suas extremidades. Calculou-se o erro percentual do volume de fustes, tomando-se como referência a quantificação volumétrica adotando seções com 1,0m de comprimento após a posição de 2m de altura (cubagem de referência). As análises gráficas consistiram na inspeção estatística da distribuição do erro percentual.

O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado para a estimativa do erro percentual do volume em função do comprimento de seções (C, m). A análise de regressão foi realizada através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. Calcularam-se a Média dos Desvios Absolutos (MDA) e Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM). Além disso, calcularam-se por derivação os erros percentuais correspondentes à tangente inferior de curva (passando pela origem, P1), ponto de inflexão (P2) e tangente superior de curva (P3).

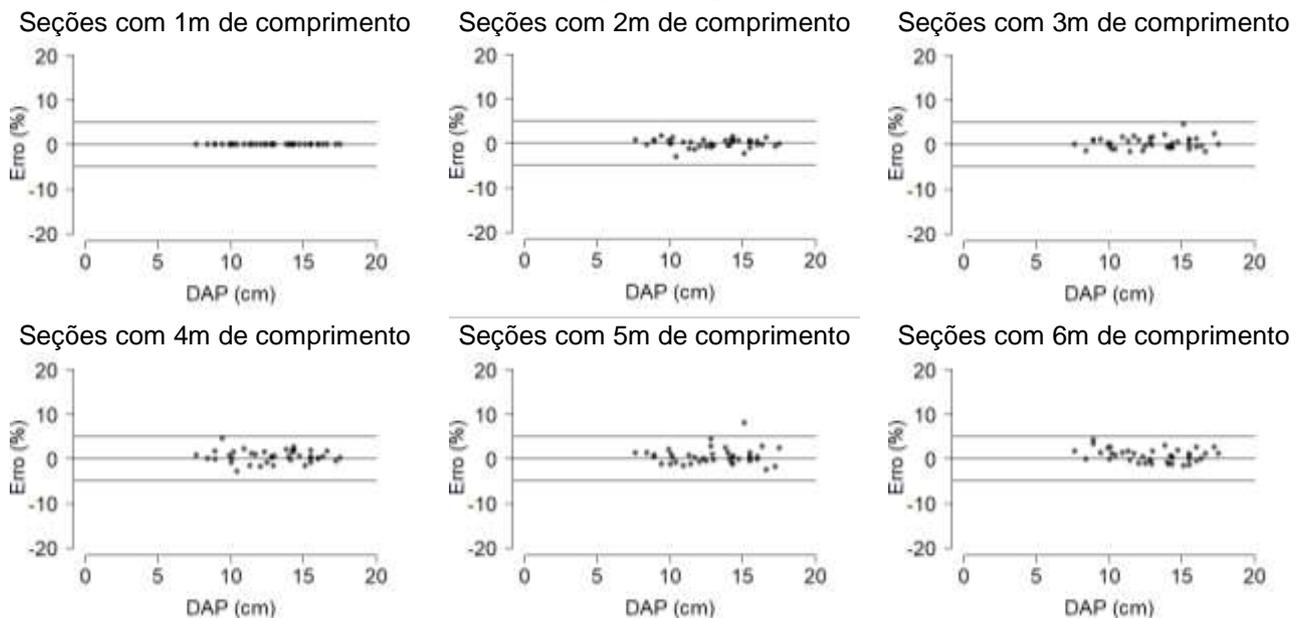
$$Erro = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma c}} + \varepsilon$$

Em que:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = parâmetros do modelo logístico;  $e$  = constante neperiana; e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio dos softwares Curve Expert 1.4 e R 4.1.0 (R Core Team, 2021).

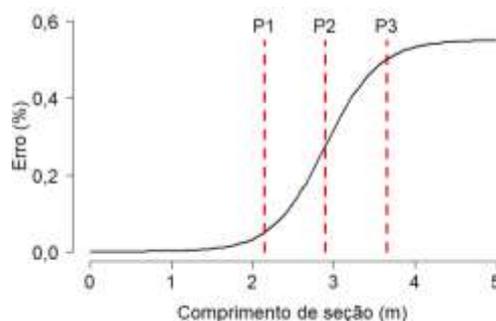
## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A dispersão do erro percentual de volume dos fustes de eucalipto aumentou com o comprimento das seções, tomando-se como referência os volumes obtidos com cubagem rigorosa a cada metro (Figura 1). Apesar de que a maioria dos erros concentraram em torno de -5 a 5%, notou-se tendência a superestimação volumétrica com o aumento do tamanho, especialmente a partir do comprimento de 3m. É provável que as superestimativas percentuais de volume sejam ainda maiores caso o comprimento das seções fosse padronizado ao longo de toda extensão do fuste comercial, isto é, incluindo a base. Tal afirmativa se baseou na premissa de que a base é a região onde, geralmente, se concentra o maior volume de um fuste (Soares et al., 2010). Saliencia-se que a aplicação da fórmula de Smalian para linhas longitudinais de superfície mais convexas que fustes paraboloides promove subestimativas volumétricas, porém linhas mais côncavas, o que são geralmente encontradas, resulta no inverso (Husch et al., 1982).



**Figura 1.** Distribuição de erros percentuais em função do DAP para o volume observado de eucalipto aos 101 meses de idade, tomando-se como referência o volume da cubagem a cada metro.

A modelagem resultou nos valores de 0,5506 para o parâmetro  $\alpha$ , de 7050,6245 para  $\beta$  e de 3,0560 para  $\gamma$  (MDA = 0,01390 e RQEM = 0,0166). A curva obtida evidenciou o comportamento sigmoidal do erro percentual do volume, aumentando em função do comprimento das seções a partir da posição de 2m de altura (Figura 2). Os valores de P1, P2 e P3 corresponderam aos comprimentos de 2,15m (Erro de 0,05%), 2,90m (Erro de 0,28%) e 3,65m (Erro de 0,50%), respectivamente. Portanto, o erro percentual do volume apresentou uma fase de crescente incremento médio a partir de P1 até o ponto de inflexão (P2) e tendência de estabilização em P3.



**Figura 2.** Curva de erros percentuais em função do comprimento de seção para o volume de eucalipto aos 101 meses de idade, tomando-se como referência o volume da cubagem a cada metro. P1 = tangente inferior de curva (passando pela origem). P2 = ponto de inflexão. P3 = tangente superior de curva.

Por outro lado, a faixa de lento crescimento sigmoidal, compreendida da origem até a tangente inferior de curva, indicou pouca variação do erro percentual para os comprimentos de seção de até 2,15m. Às vistas da praticidade de uso do sistema métrico, indica-se seções de comprimento nunca superiores a 2m para a cubagem rigorosa a partir da posição de 2m de altura. Este comprimento indicado está consonância com Machado et al. (2006) e Soares et al. (2010), que avaliaram diferentes comprimentos de seção em cubagens a partir de 1,3m de altura e da base de fuste, respectivamente. Além disso, sugere-se a intensificação da amostragem próximo ao solo, principalmente, na presença de deformidades e nítidas variações na forma da base de fustes.

## CONCLUSÕES:

O comprimento de seção adotada na cubagem rigorosa influencia a determinação volumétrica de fustes. Seções mais longas levam a superestimativas do volume acima da posição de 2m de altura e, conseqüentemente, do volume total do fuste.

Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para a redução do esforço amostral em procedimentos de cubagem rigorosa e desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o planejamento operacional e quantificação volumétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AKPO, H. A.; ATINDOGBÉ, G.; OBIAKARA, M; C.; ADJINANOUKON, A. B.; GBEDOLO, M.; FONTON, N. H. Accuracy of common stem volume formulae using terrestrial photogrammetric point clouds: a case study with savanna trees in Benin. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 2415-2422, 2021.
- 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.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017. 636p.
- HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. New York: J. Wiley, 1982. 402p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 01 fev. 2022.
- KOIRALA, A.; MONTES, C. R.; BULLOCK, B. P.; WAGLE, B. H. Developing taper equations for planted teak (*Tectona grandis* L. f.) trees of central lowland Nepal. **Trees, Forest and People**, v. 5, 100103, 2021.
- MACHADO, S. A.; TÉO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.
- MCTAGUE, J. P.; WEISKITTEL, A. Evolution, history, and use of stem taper equations: a review of their development, application, and implementation. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 51, n. 2, p. 210-235, 2020.
- MIGUEL, E. P.; NETTO, S. P.; AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. T. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Alternative methods of scaling *Eucalyptus urophylla* trees in forest stands: compatibility and accuracy of volume equations. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 11, 275-283, 2018.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- SALEKIN, S.; CATALÁN, C. H.; BOCZNIEWICZ, D.; PHIRI, D.; MORGENROTH, J.; MEASON, D. F.; MASON, E. G. Global tree taper modelling: a review of applications, methods, functions, and their parameters. **Forests**, v. 12, n. 7, 913, 2021.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba, PR: Multi Graphic, 2014. 406p.
- SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F.; MARTINS, F. B. Influence of section lengths on volume determination in *Eucalyptus* trees. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 155-162, 2010.
- SOUZA, H. S.; DRESCHER, R.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; MOURA J. P. V. M.; SIQUEIRA, T. A. S.; MAMORÉ, F. M. D. Comparação de métodos de cubagem para eucalipto. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 35, n. 1, p. 17-26, 2017.