



**Ajuste de modelos de afilamento em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*:
Alto Fuste e Talhadia.**

**Taper models adjustment in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*: High Forest
and Coppice.**

Renato Vinícius Oliveira Castro¹; Ramon Martins de Castro Melo²; Fernanda Beatriz Rocha
Fernandes³; Juliana Fonseca Cardoso⁴; Glauciana da Mata Ataíde⁵;
Rosimeire Cavalcante dos Santos⁶

¹Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei/MG
renatocastro@ufs.edu.br

²Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Dimantina/MG
ramon.martins@ufvjm.edu.br

³Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Dimantina/MG
fernanda.rocha@ufvjm.edu.br

⁴Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Dimantina/MG
juliana.cardoso@ufvjm.edu.br

⁵Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei/MG
glauciana@ufs.edu.br

⁶Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN
meire_caico@yahoo.com.br

Resumo: Este estudo avaliou o ajuste de modelos de afilamento em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144), comparando a forma do fuste nos regimes de Alto Fuste e Talhadia. Foram ajustados e comparados o modelo de Garay, Ormerod, Demaerschalk e Kozak para cada regime. A avaliação dos métodos foi realizada por meio de estatísticas de precisão e análise gráfica dos resíduos. O teste F de Graybill foi usado para comparar a forma do fuste entre os regimes. O modelo de Garay destacou-se entre os demais. O teste F de Graybill comprovou diferenças significativas entre os perfis de fuste nos regimes de Alto Fuste e Talhadia.

Palavras-chaves: Taper; Silvicultura; Dendrometria; Manejo florestal.

Abstract: This study evaluated the fitting of taper models in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144), comparing the stem form in the High Stem and Coppice regimes. The Garay, Ormerod, Demaerschalk, and Kozak models were fitted and compared for each regime. The evaluation of the methods was conducted through accuracy statistics and graphical analysis of residuals. The Graybill F-test was used to compare the stem forms between the regimes. The Garay model stood out among the others. The Graybill F-test confirmed significant differences between the stem profiles in the High Stem and Coppice regimes.

Keywords: Taper; Silviculture; Dendrometry; Forest management.



INTRODUÇÃO

O fuste de diversas espécies arbóreas exibe variações de forma ao longo de seu comprimento, desde a base até o topo, passando pela região central. Uma das abordagens mais comuns para descrever essas variações são as funções de afilamento, que fornecem dados sobre a produção volumétrica e os sortimentos de madeira. O afilamento é caracterizado pela redução do diâmetro em relação ao diâmetro à altura do peito (Campos; Leite, 2017). Apesar da literatura ainda possuir lacunas quanto aos efeitos dos regimes de condução sobre o perfil do fuste, Azevedo et al. (2016), identificou que os regimes de Alto Fuste e Talhadia influenciam a forma de árvores de Eucalipto, onde as árvores conduzidas respectivamente no primeiro regime apresentam forma cônica e no segundo apresentam forma cilíndrica.

Considerando esses resultados, é essencial a realização de mais estudos que explorem os efeitos dos diferentes regimes de condução sobre o perfil do fuste, com o objetivo de aprimorar a compreensão sobre essa influência. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as diferenças no perfil do fuste de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144) sob os regimes de Alto Fuste e Talhadia. Modelos de Garay (1979), Ormerod (1973), Demaerschalk (1972) e Kozak et al. (1969) foram ajustados e comparados estatística e graficamente para selecionar o melhor, sendo o teste F de Graybill aplicado para verificar se houve diferença significativa entre os perfis de fuste nos dois regimes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados utilizados neste estudo referem-se ao híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144) e foram fornecidos por uma empresa de reflorestamento localizada no município de Buritizeiro-MG. As árvores avaliadas foram cultivadas sob dois regimes distintos de manejo: Alto Fuste e Talhadia. No regime de Alto Fuste (AF), foram avaliadas 70 árvores, distribuídas em 5 talhões que totalizam uma área de 128,98 hectares e as árvores foram plantadas em janeiro de 2013. Já no regime de Talhadia (T), foram amostradas 72 árvores, em 3 talhões que somam 85,45 hectares e o plantio foi realizado em novembro de 2012. Neste regime, devido à presença de bifurcações em algumas



árvores, foram selecionadas apenas árvores com a condução de apenas um broto (um fuste) por cova.

Coleta e análise dos dados

As variáveis coletadas incluíram o diâmetro à altura do peito (D , em cm), a altura total (H , em m) e o diâmetro (d , em cm) em alturas específicas ao longo do fuste (h , em m), obtidos por meio de cubagem. Para todos os indivíduos, a cubagem foi realizada considerando distâncias iniciais padronizadas de 0m; 0,3m; 0,5m; 1m; 1,3m; 1,7m; 2m; 3m; 4m; 6m a 8m. Em ambos os regimes as árvores estavam com aproximadamente sete anos e meio no momento das coletas de dados.

Para a modelagem dos dados, foram ajustados modelos de afilamento propostos por Garay (1979), Ormerod (1973), Demaerschalk (1972) e Kozak et al. (1969) representados na Tabela 1, utilizando o software R versão 4.5.0 (R Core Team, 2025). Os modelos lineares foram ajustados por meio do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (Legendre, 1805), enquanto os modelos não lineares utilizaram o algoritmo Levenberg-Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963).

Tabela 1 - Modelos de afilamento analisados para estimação do perfil de afilamento.

Nº	Modelo	Autor
1	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left[\frac{H-h}{H-1.3}\right]^{\beta_1} + \varepsilon$	Ormerod (1973)
2	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$	Kozak et al. (1969)
3	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 10^{2\beta_0} * D^{2\beta_1-2}(H-h)^{2\beta_2} * H^{2\beta_3} * \varepsilon$	Demaerschalk (1972)
4	$\frac{d}{DAP} = \beta_0 + [1 + \beta_1 * \ln(1 - \beta_2 * h^{\beta_3} * Ht^{-\beta_3})]$	Garay (1979)

Em que: Ln = logaritmo neperiano; H = altura total ou comercial, em metros; h = altura onde ocorre o diâmetro d_i (m); D = diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm; d = diâmetro na altura h_i (cm); β_0 a β_5 = parâmetros do modelo a ser estimado; e ε = erro aleatório.

A avaliação dos modelos de afilamento foi realizada separadamente para cada regime silvicultural, com as árvores agrupadas conforme os regimes de manejo. Os quatro modelos foram ajustados individualmente para cada grupo, com o objetivo de identificar o



mais adequado. A precisão dos ajustes foi verificada por meio de critérios estatísticos, como o erro padrão da estimativa ($Sy.x$), o coeficiente de correlação ($r_{y\hat{y}}$), o viés (V) e a análise gráfica dos resíduos (%). Após determinar o melhor modelo, aplicou-se o teste de identidade F de Graybill (1976) para verificar diferenças significativas entre os perfis. O teste de F comparou a soma dos quadrados das regressões ajustadas para cada regime (modelo completo) com a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (modelo reduzido).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção do modelo de afilamento

Todos os parâmetros estimados de todas as equações foram estatisticamente significativos (p -valor $< 0,05$) (Tabela 2). Na análise das estatísticas de qualidade, o modelo Garay (1979) destacou-se com menor $Sy.x$ (0,49 AF; 0,66 Talhadia), menor V (0,028 AF; 0,030 Talhadia) e 99% de $r_{y\hat{y}}$ em ambos os regimes, comprovando sua eficácia para a base de dados analisada. Seguidos pelo modelo Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Kozak et al. (1969), para ambos os regimes de condução.

Tabela 2 – Coeficientes e estatísticas de qualidade dos parâmetros dos modelos de afilamento ajustados para um povoamento em dois regimes, Alto fuste e Talhadia.

	Alto fuste				$Sy.x$	V	$r_{y\hat{y}}$
	β_0	β_1	β_2	β_3			
Garay (1979)	0,2079	0,3147	0,9834	0,2656	0,49	0,028	0,99
Ormerod (1973)	-	1,2765	-	-	0,81	0,269	0,99
Demaerschalk (1972)	0,1184	1,0083	0,6763	-0,74604	0,72	0,003	0,99
Kozak et al. (1969)	0,6649	0,6863	-1,4752		2,51	0,644	0,88
	Tahadia				$Sy.x$	V	$r_{y\hat{y}}$
	β_0	β_1	β_2	β_3			
Garay (1979)	0,2251	0,3126	0,9829	0,2442	0,66	0,030	0,99
Ormerod (1973)	-	1,2682	-	-	0,98	0,295	0,98
Demaerschalk (1972)	0,1145	0,9528	0,6717	-0,6909	0,89	0,003	0,98
Kozak et al. (1969)	0,5866	0,7581	-1,3835		3,09	0,966	0,82

Em que: $Sy.x$ = erro padrão da estimativa; V = viés; e $r_{y\hat{y}}$ = coeficiente de determinação.

Valores de $Sy.x$ próximos a zero, indica proximidade das estimativas aos valores reais (Stock; Watson, 2010), enquanto V reflete a discrepância entre valores observados e estimados (Campos; Leite, 2017), com valores próximos a zero indicando imparcialidade. O $r_{y\hat{y}}$ mede a força e direção da relação entre variáveis, valores próximos a um (1) representam máxima correlação (Garson, 2009). Além da análise estatísticas, gráficos de



dispersão (Figura 1) também foram utilizados para auxiliar na escolha do modelo ideal. A análise de resíduos dos modelos ajustados confirmou o bom ajuste do modelo de Garay (1979), com menor dispersão, especialmente para diâmetros maiores. Ormerod (1973) e Demaerschalk (1972) subestimaram diâmetros maiores, e Kozak et al. (1969) foi inadequado.

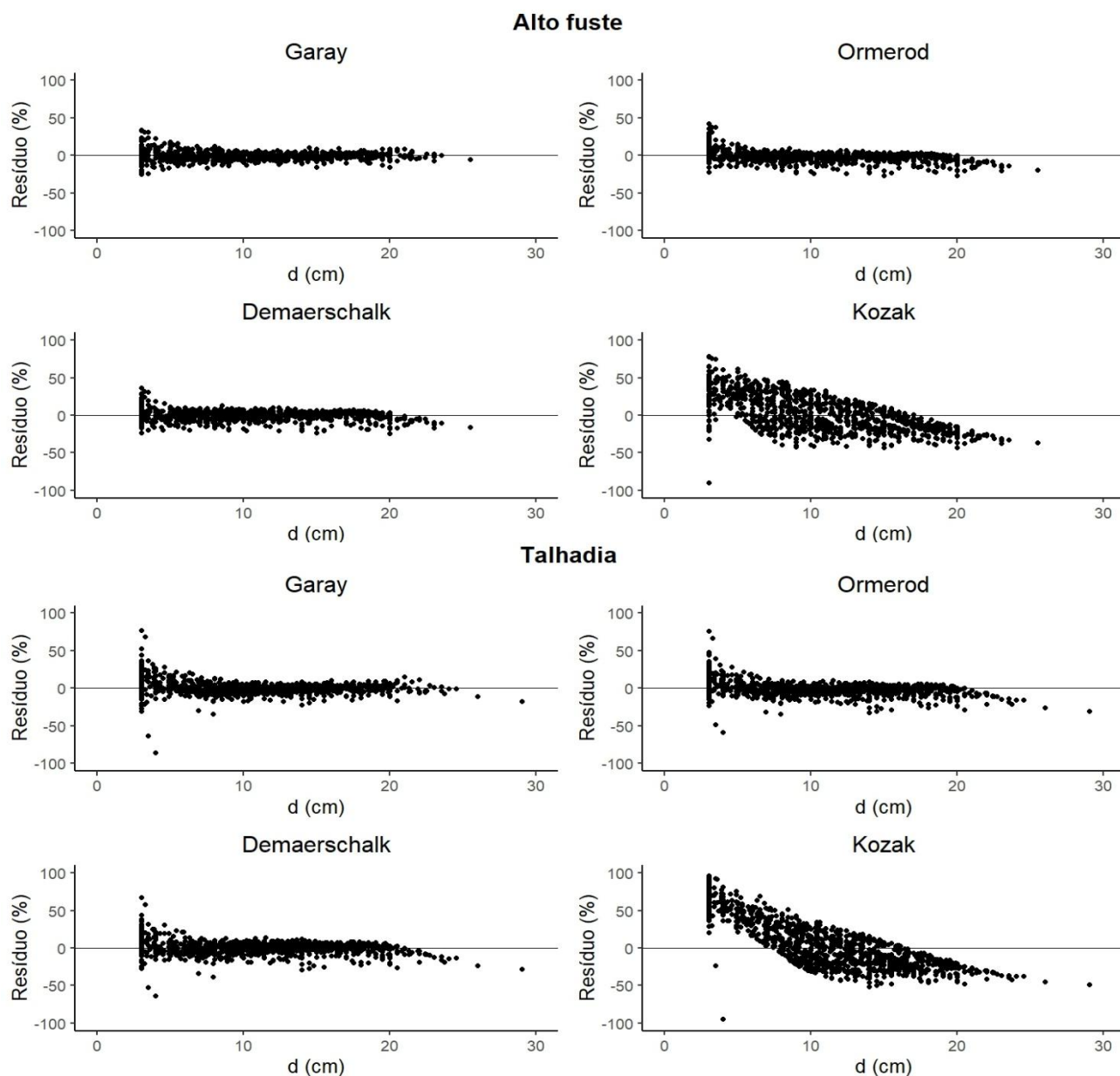


Figura 1: Análise gráfica dos resíduos, para as árvores de um povoamento com dois regimes de condução, Alto fuste e Talhadia.



Estudos destacam que o modelo de Garay (1979) é flexível e robusto, adequado para descrever variações de forma em árvores de diferentes espécies e tamanhos (Leite et al., 2006). Ele considera variáveis como diâmetro comercial, altura comercial e volume, sendo amplamente recomendado por gerar estimativas sem tendências. O teste F de Graybill (1976) ($F = 12,84 > F_{\text{tabelado}} = 2,38$; $p\text{-valor} < 0,005$) confirmou diferenças significativas entre os perfis de fuste nos regimes de condução estudados, indicando que a variação explicada pelos modelos separados é maior que por um modelo único. Para efeito ilustrativo, foram expressos os perfis de afilamento da árvore média de cada regime na Figura 2.

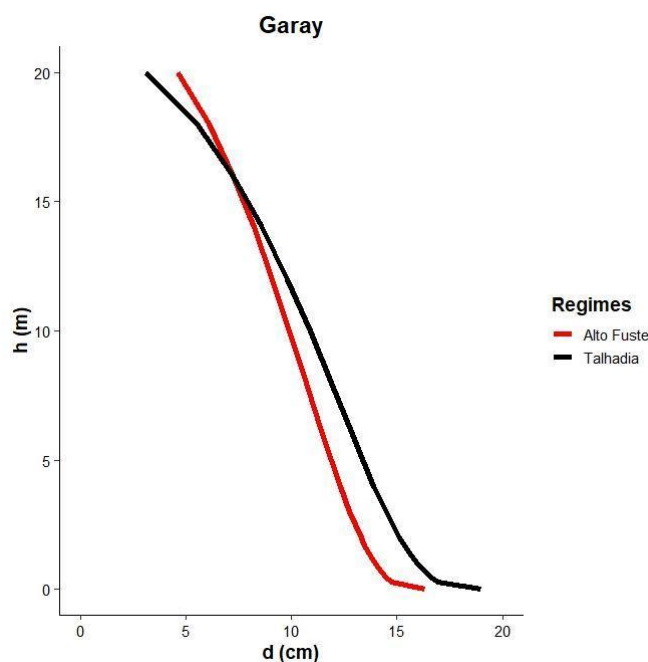


Figura 2: Análise gráfica do perfil do fuste da árvore média, em um povoamento com dois regimes de condução, Alto fuste e Talhadia.

Os resultados indicam que as estimativas do perfil do fuste total diferem estatisticamente dos perfis obtidos separadamente para Alto Fuste e Talhadia, demonstrando que os modelos ajustados por regime explicam melhor a variação dos dados do que um modelo único. Para contextualizar, o manejo por Alto Fuste visa à produção de madeira de menor diâmetro para celulose e energia, sem desbastes e com replantio após o corte raso (Sixel, 2008). Já a Talhadia utiliza a regeneração vegetativa por brotação de cepas, com manejo da brotação para maximizar a produção (Scolforo; Maestri,



1998). A principal diferença entre os sistemas está no tipo de regeneração: rebrota na Talhadia e replantio no Alto Fuste.

CONCLUSÃO

O modelo de Garay (1979) é o mais adequado para quantificar o afilamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144), com melhores indicadores de ajuste e menor dispersão de resíduos, independentemente do regime, Alto Fuste ou Talhadia. O teste de Graybill (1976) confirmou que os perfis de fuste variaram estatisticamente entre os regimes.

REFERÊNCIAS

Azevedo, G. B.; Azevedo, G. T. O. S.; Castro, R. V. O; Barreto-garcia, P. A. B.; Rezende, A. V. Bole profile of eucalyptus under two conduction regimes in the southwest region of the brazilian state bahia. *Revista Árvore*, v. 41(2), e410211, 2017.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa, Editora UFV, 2017.

DEMAERSCHALK, J. P. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal Forest Research*, v. 3, n. 90, p. 90-94, 1972.

GARAY, L. Tropical Forest utilization system: VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 1979. 64 p. (Contribution, 36).

GARSON, G. D. Statnotes: Topics in multivariate analysis. North Carolina State University, 2009.

GRAYBILI, J. Theory and application of the linear model. Belmont: Duxbury, 1976.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper function and their application in forest inventory. *Forestry Chronicle*, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

LEGENDRE A. Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes. Nineteenth Century Collections Online (NCCO): Science, Technology, and Medicine: 1780-1925, F. Didot. 1805.

LEITE, H. G.; GAMA, J.V.; CRUZ, J. P.; SOUZA, A. L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (ROLL.) WARB. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, v. 30, n. 1, p. 99-106, 2006.

LEVENBERG, K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*, v. 2, n. 2, p. 164-168, 1944.



MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.
ORMEROD, D. W. A simple bole model. *Forestry Chronicle*, Quebec, v. 49, n. 3, p. 136-138, 1973.

R CORE TEAM. *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025.

SCOLFARO, J. R. S.; MAESTRI, R. Manejo de florestas plantadas. Lavras: UFLA, 1998.
SIXEL, R. M. M. Sistema de Manejo Florestal. Acervo Histórico IPEF: Informações Técnicas. IPEF, 2018 Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/sistema_de_manejo_florestal.aspx. Acesso em: 2 jul. 2025.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. Introduction to Econometrics. 3. ed. Addison-Wesley Series in Economics, v. 1. Addison-Wesley, 2010.