



AJUSTE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS EM FLORESTAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO NO ESTADO DO AMAPÁ

Adenilda Ribeiro de Moura¹, José Antônio Aleixo da Silva¹, Jadson Coelho de
Abreu², Adelilson Chagas Rodrigues³, Rogério dos Santos Cardoso⁴

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: adenildamoura@gmail.com; jaaleixo@uol.com.br

2 Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: jadson.abreu@ueap.edu.br

3 Mineral Engenharia e Meio Ambiente LTDA. Macapá- AP, E-mail: adelilson.bio.mar@hotmail.com

4 AMCEL, Macapá, AP, Brasil. E-mail: rogerio.cardoso@amcel.com.br

Autora correspondente: Adenilda Ribeiro de Moura. E-mail: adenildamoura@gmail.com

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o ajuste, bem como selecionar o melhor modelo hipsométricos para estimar a altura total de clones de Eucaliptos no estado do Amapá. Foram ajustados três modelos (Linha Reta; Stoffel; Curtis) em três hortos florestais. Os dados são provenientes do inventário anual de plantio de clones de Eucaliptos, pertencente à empresa Amapá Florestal e Celulose (AMCEL). Para os modelos testados se utilizou como variável dependente altura total (Ht) e independente o diâmetro a 1,30m do solo (D). Aplicou-se a técnica da regressão linear pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Foram analisadas estatisticamente: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) e a distribuição gráfica dos resíduos. Observou-se que o modelo de Stoffel foi superior em relação, aos outros dois modelos ajustados, com R^2 0,797 e o S_{xy} 12,6%. Quanto a análise residual, os modelos de Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente uma maior homogeneização em relação ao modelo da Linha Reta. Com base na distribuição dos resíduos, juntamente com o erro padrão da estimativa (S_{yx}), os modelos de Curtis e Stoffel se mostraram os mais apropriados para a estimativa da altura total em função do D nas três áreas analisadas.

Palavras-chave: Inventário florestal; mensuração; plantios florestais.

ADJUSTMENT OF HYPSONOMETRIC MODELS IN FAST-GROWING FORESTS IN THE STATE OF AMAPÁ, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the fit, as well as to select the best hypsonometric model to estimate the total height of Eucalyptus clones in the state of Amapá. Three models (Straight Line; Stoffel; Curtis) were adjusted in three forest gardens. The data come from the annual inventory of planting Eucalyptus clones, belonging to the company Amapá Florestal e Celulose (AMCEL). For the models tested, the dependent variable was total height (H) and the diameter at 1.30 m from the ground (D) an independent variable. The technique of linear regression was applied using the method of ordinary least squares. The following were statistically analyzed: adjusted coefficient of determination (R^2_{adjust}), standard error of percentage estimate ($S_{yx}\%$) and graphic distribution of residuals. It was observed that the Stoffel model was superior in relation to the other two adjusted models, with R^2 0.797 and S_{xy} 12.6%. As for the residual analysis, the Curtis and Stoffel models showed slightly greater homogenization in relation to the Straight-Line model. Based on the distribution of residuals, together with the standard error of the estimate (S_{yx}), the Curtis and Stoffel models proved to be the most appropriate for estimating the total height as a function of D in the three areas analyzed.

Key words: Forest inventory; measurement; forest plantations

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Os plantios florestais de rápido crescimento, principalmente o Gênero *Eucalyptus* é uma tendência real nas últimas décadas (Miguel *et al.*, 2014). O Gênero *Eucalyptus* possui grande importância econômica, tendo em vista seu crescimento e de toda a cadeia produtiva da madeira, além da sua capacidade produtiva, adaptabilidade a diversos ambientes (Garlet *et al.*, 2009). Conhecer a produtividade de um povoamento não é tarefa fácil, exigem uma demanda muito grande de informações em todas as etapas do ciclo do povoamento, pois possibilita maior controle do planejamento, culminando em decisões eficazes e sólidas do empreendimento florestal (Lima Filho *et al.*, 2012).

Nesse contexto, os inventários florestais culminam no monitoramento do crescimento e da produção que é crucial para o manejo florestal (Ribeiro *et al.*, 2010). Além de, fornece informações sobre o desenvolvimento dos povoamentos, são necessários para monitorar a produção, a partir das variáveis, diâmetro e altura (Campos & Leite, 2017; Sanquetta *et al.*, 2023).

Desta forma, as relações hipsométricas são amplamente utilizadas em inventários florestais, visando facilitar e diminuir o custo e o tempo na obtenção da variável altura (Schmidt, 1977; Miguel *et al.*, 2018). Devido à disponibilidade de diferentes modelos hipsométricos é fundamental mais estudo que vise à obtenção de modelos com estimativas mais precisas, consequentemente com maior eficiência no planejamento dos plantios florestais e produção florestal. Nesse contexto, o estudo objetivou avaliar o ajuste, bem como selecionar o melhor modelo hipsométricos para estimar a altura total clones e Eucaliptos no estado do Amapá.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em povoamento clonal de Eucaliptos, pertencentes à empresa AMCEL S/A – Amapá Florestal e Celulose, situada no município de Porto Grande, no estado do Amapá. A classificação climática do estado do Amapá segundo Köppen-Geiger é do tipo Am, isto é, tropical super úmido, com a temperatura variando entre 32,6°C e 40°C (Farias Neto & Resende, 2001).

Os dados são derivados de inventários florestais contínuos, de um plantio estabelecido em 2011, com espaçamento inicial de 2,8 X 3,21 m, e medições anuais no período de 2011 a 2017, distribuídos em três hortos florestais denominados: Retiro peixe-boi, Fazenda Areia Branca e Flexal. Por meio do censo florestal realizado nos hortos florestais supracitados. Foram mensurados os diâmetros a 1,30 m de altura do peito (D) e a Altura total (H) de 586 indivíduos das plantas inventariadas. Após a coleta dos dados de D e H, os mesmos foram empregados para o ajuste de modelos de relação hipsométrica: Linha Reta; Stoffel; Curtis. Os dados obtidos

foram submetidos ao software Office Excel (2018) como ferramenta de análise para regressão e para fins de processamento das avaliações.

Ajuste de modelos hipsométricos

Foram testados três modelos hipsométricos (Tabela 1) sendo utilizada como variável dependente altura e a variável independente o diâmetro a altura do peito para clones de Eucaliptos.

Tabela 1. Modelos hipsométricos ajustados para estimativa da variável altura das árvores de Eucaliptos em povoamentos florestais no estado do Amapá-AP

Nome	Modelo
Linha Reta	$h = b_0 + b_1 D + \varepsilon$
Stoffel	$Ln h = b_0 + b_1 Ln D + \varepsilon$
Curtis	$Ln h = b_0 + b_1 \frac{1}{D} + \varepsilon$

Em que: h- Altura das árvores (m); b_0, b_1 – coeficiente de regressão; Ln- logaritmo neperiano; D- diâmetro a 1,30m do solo (cm); ε - erro padrão de estimativa

Para a seleção do melhor modelo, foram avaliados os seguintes critérios: distribuição gráfica dos resíduos, ajuste da regressão para os dados observados, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Em que, o coeficiente de determinação R^2 , expressa a quantidade de variação dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Erro padrão da estimativa absoluto (S_{yx}) e relativo ($S_{yx}\%$) explica que quanto mais próximo de zero melhor, mais preciso são os modelos. Já a análise gráfica do resíduo (%) ajudar verificar a tendenciosidade das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a relação entre a variável dependente H (m) e a variável independente o D (cm) para clones de Eucaliptos (Figura 1), percebe-se uma amplitude diamétrica de 4,00 a 24,07 cm e de altura de 6,03 a 32,80 m, bem heterogenia dos valores coletados.

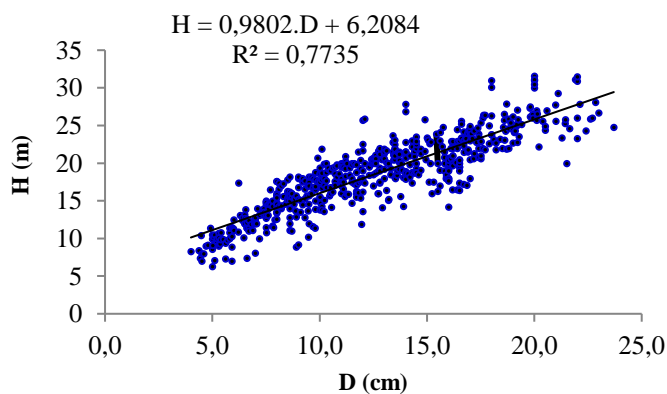


Figura 1. Distribuição dos dados observados de altura em função do diâmetro à altura do peito para as árvores de Eucaliptos em povoamentos florestais de rápido crescimento no estado do Amapá-AP

A heterogeneidade de um povoamento pode ser explicada por diversos fatores, entre eles: água, luz e nutrientes, a ausência de um deles compromete diretamente o crescimento tanto em altura quanto em diâmetro, fazendo com que ocorra uma competição entre os indivíduos arbóreos, nos quais alguns irão se sobressair em busca de um desses elementos (Soares, 2017).

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Para compreender melhor essa heterogeneidade do povoamento, foram feitos os ajustes de três modelos hipsométricos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos hipsométricos utilizados para obtenção da altura de planta (m) em função do diâmetro à altura do peito (cm), das árvores de Eucaliptos em povoamentos florestais de rápido crescimento no estado do Amapá-AP

Nome	Modelos Matemáticos
Linha Reta	$H = 6,2084 + 0,9801 * D$
Stoffel	$Ln H = 1,2048 + 0,6802 * Ln D * 1,008879$
Curtis	$Ln H = 3,4932 + (-6,6126) * (\frac{1}{D} * 1,008909)$

Em que: H - Altura das árvores (m); b_0, b_1 – coeficiente de regressão; Ln- logaritmo neperiano; D- diâmetro a 1,30m do solo (cm)

Para Silva (2018), o modelo de Stoffel apresentou resultados superiores de ajuste e precisão, recomendando o modelo para a obtenção da variável altura total em povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla*, no norte do Pará. Desta forma, é importante ajustar diversos modelos, para encontrar seus coeficientes. Esses ajustes podem ser explicados pela análise de regressão, promovendo uma maior segurança na escolha do modelo a ser aplicado (Schimidt, 1977; Sanquetta *et al.*, 2023). Observa-se na Tabela 3, os coeficientes e parâmetros estatísticos usados nos modelos hipsométricos, para a seleção da melhor equação.

Tabela 3. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos nos ajustes dos modelos hipsométricos para árvores de Eucaliptos em povoamentos florestais de rápido crescimento no estado do Amapá-AP

Modelo	Coeficientes		Estatística de Ajuste		
	b_0	b_1	$R^2_{aj.}$	S_{yx}	$S_{yx}\%$
Linha Reta	6,2084	0,9801	0,7735	2,36	12,08%
Stoffel	1,2048	0,6802	0,7970	1,83	12,60%
Curtis	3,4932	-6,6612	0,7963	1,98	10,00%

Em que: b_0, b_1 – coeficiente de regressão; $R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = Erro padrão da estimativa absoluto; $S_{yx}\%$ = Erro padrão da estimativa relativo

Verificou-se que o $R^2_{aj.}$ não ultrapassou a 0,80. No entanto, estes valores podem ser considerados satisfatórios, uma vez que diversos pesquisadores afirmam que esta estatística raramente será maior que 0,8 ao modelar a variável altura com técnicas de regressão (Scolforo, 1997; Campos & Leite, 2017). Observando o erro padrão da estimativa na (Tabela 3) os menores valores (absolutos e relativos) foram os testados pelos modelos de Curtis e Stoffel, ambos apresentaram maiores eficiência. Analisando o critério de importância, o modelo Stoffel apresentou o melhor R^2 e ainda o menor S_{yx} . Para melhor compreensão dos ajustes e escolha do melhor modelo, realizou-se a análise gráfica de resíduos das equações ajustadas (Figura 2) na busca de tendenciosidade das equações ajustadas.

É possível observar que os modelos de Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis ao da linha reta. Pois nestes modelos percebeu-se uma maior homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão quando comparado aos demais modelos da linha reta.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

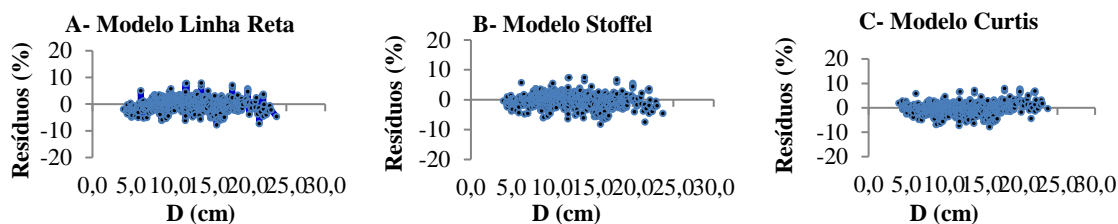


Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos de três modelos hipsométricos, em função da altura total observada para árvores de Eucaliptos em povoamentos florestais de rápido crescimento no estado do Amapá-AP. Distribuição dos resíduos em função do diâmetro a 1,30m do solo (D) em cm

CONCLUSÃO

Com base na distribuição dos resíduos, juntamente com o erro padrão da estimativa (S_{yx}), os modelos de Curtis e Stoffel, mostraram os mais apropriados para a estimativa da altura total em função do D nas três áreas analisadas.

REFERÊNCIAS

- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 5.ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636p.
- Farias Neto, J. T.; Resende, M. D. V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320-324, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452001000200024>.
- Garlet, J.; Zauza, E. A.V.; Salvadorio, F.F.J.R. Danos provocados por coró-das-pastagens em plantas de eucalipto. **Ciência Rural**, v. 39, n.2, p. 575-576, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000079>.
- Lima Filho, L.M.; Silva, J. A. A.; Cordeiro, G. M.; Ferreira, R. L. C. Modelagem do crescimento de clones de Eucalyptus usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Ciência Florestal**, v.22, n. 4, p.777-785, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050987558>.
- Miguel, E. P.; Leal, F.A.; Ono, H. A.; Leal, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira Biomass**, v.32, n.4, p.584-598, 2014. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v32/v32_n4/A8_EderFabricio.pdf.
- Miguel, E. P.; Silva, L. D. D.; Paniago, G. F.; Godinho, O. L.; Ono, H. A.; Pegorato, M. L.; Leal, A. J. F.; Pirez, J. Modelagem hipsométrica em povoamentos híbrido clonal de *Eucalyptus*. **Revista Agrarian**, v.11, n.40, p. 159-167, 2018. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.3324>
- Ribeiro, A.; Filho, A. C. F.; Mello, J. M.; Ferreira, M. Z.; Lisboa, P. M. M.; Scolforo, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de Eucalyptus sp. **Cerne**, v.16, n. 1, p. 22-31, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000100003>
- Sanquetta, C. R.; Corte, A. P. D.; Rodrigues, A. L.; Watzlawick, L. F. **Inventários Florestais**: planejamento e execução. 4.ed. Curitiba: Multi Graphic, 2023. 406p.
- Schmidt, P. B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v.8, n.8 p.24-27, 1977. <https://doi.org/10.5380/ufv.v8i1.5827>.
- Scolforo, J. R. S. **Biometria florestal 2**: técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. Lavras: UFLA; FAEPE, 1997. 292p.
- Silva, M. A. Relações hipsométricas e classificação da capacidade produtiva de *Eucalyptus urophylla*, na região do Jari, no Pará. 2018. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Pará, Altamira, 2018. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/1203>. Acesso em: 15 Mar. 2023.
- Soares, A. A. V. S. **Efeito da heterogeneidade estrutural na produtividade e na dinâmica do crescimento em povoamentos de Eucalyptus sp.** 2017. 57p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9884>. Acesso em: 13 Mar. 2023.