



ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DE CRESCIMENTO PARA ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

Vitor Fransuá Guedes de Sousa¹, Heberton da Silva Rodrigues²,
Anderson Gustavo do Nascimento Martins³, Adenilda Ribeiro de Moura⁴,
Jadson Coelho de Abreu⁵

¹Engenheira Florestal, Graduando do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, *campus* Macapá. E-mail: v.f.guedessousa@gmail.com; ²Engenheira Florestal, Graduando do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, *campus* Macapá. E-mail: gustavomartir4@gmail.com; Engenheira Florestal, Graduando do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, *campus* Macapá. E-mail: hebertonueap@gmail.com; Bióloga, Universidade Federal do Amapá, Oiapoque. E-mail: adenildamoura@gmail.com; ⁵Engenharia Florestal, Professor do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá. E-mail: jadson.abreu@ueap.edu.br

Manejo Florestal: Dendrometria e Inventário Florestal

RESUMO

A exploração da madeira é uma atividade de longa data, e o Brasil se destaca como um importante polo para investimentos no setor madeireiro, especialmente devido à sua grande extensão territorial e clima favorável. Entre as espécies cultivadas, o eucalipto se destaca por suas diversas aplicações econômicas, como na produção de celulose, madeira serrada e carvão. Este estudo tem como objetivo avaliar diferentes modelos de regressão para estimar a área basal de eucalipto em função da idade. Foram utilizados dados da empresa Amapá Florestal e Celulose S.A. (AMCEL) e testados quatro modelos de regressão: logístico, Schumacher, Chapman & Richards e Gompertz. A análise revelou que todos os modelos apresentaram coeficientes significativos e bom ajuste aos dados, mas o modelo de Chapman & Richards se destacou pela menor complexidade e maior precisão nas previsões, evidenciado por métricas como erro quadrático médio (MSE), erro absoluto médio (MAE) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Conclui-se que este modelo é o mais adequado para estimar a área basal de eucalipto em função da idade, contribuindo para um melhor gerenciamento florestal e planejamento da produção.

Palavras-chave: Mensuração florestal, Produção florestal, Regressão.

1. INTRODUÇÃO

A exploração da madeira é uma atividade que ocorre há muitos séculos. Ao longo do tempo, se consolidou como um dos principais recursos utilizados pelo homem, sendo amplamente utilizada na construção de casas, ferramentas e armas (PONCE, 1995). Com o passar dos anos, se tornou um material cada vez mais requisitado e nesse cenário de crescente demanda de áreas de exploração, o Brasil se destacou como um grande atrativo para investimentos no setor madeireiro devido

a sua grande extensão territorial e a presença de um clima tropical que favorece o cultivo de diversas espécies de plantas de diferentes lugares do mundo, sendo que 54,4% de sua área é coberta por florestas, naturais ou plantadas (DE VECHI, 2018; BRASIL, 2013).

No que tange à produção de florestas plantadas, o cultivo de eucalipto ocupa uma área de aproximadamente 7,5 milhões de hectares, com os maiores produtores nacionais localizados nas regiões sul e sudeste (RODRIGUES, 2024). Segundo a Associação Mineira de Silvicultura – AMS (2009), o eucalipto, apresenta uma vasta gama de aplicações no setor econômico, como na produção óleos essenciais, produtos apícolas, celulose e papel, madeira serrada, postes e moirões, laminados, MDF, HDF, chapas de fibra, compensados, carvão e lenha. Na visão de Campinhos (2001), a utilização de diferentes espécies de eucalipto pode contribuir para reduzir a pressão sobre as florestas nativas

Visando facilitar a obtenção de dados utilizados na avaliação da densidade, da produtividade, na previsão do crescimento e no gerenciamento do desbaste do eucalipto, este estudo tem como objetivo avaliar o ajuste de diferentes modelos de regressão para estimar a área basal em função da idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O banco de dados utilizado para a estimação dos parâmetros das equações de área basal, foi disponibilizado pela empresa Amapá Florestal e Celulose S.A. (AMCEL), localizada no estado do Amapá. Os modelos de regressão empregados para estimar a área basal em função da idade foram:

- 1) Modelo logístico:

$$G = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I}}$$

- 2) Modelo de Schumacher:

$$G = \beta_0 e^{\frac{\beta_1}{I}}$$

- 3) Modelo de Chapman & Richards:

$$G = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I})^{\beta_2}$$

- 4) Modelo de Gompertz:

$$G = \beta_0 e^{\beta_1 e^{-\beta_2 I}}$$

Inicialmente, houve o desenvolvimento de gráficos de ajuste dos modelos e a aplicação de métricas estatísticas para verificar qual modelo obteve o melhor ajuste ao banco de dados. Os critérios utilizados foram: menor erro quadrático médio (MSE), menor Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), menor erro absoluto médio (MAE), menor mediana do erro absoluto (MEDAE), menor erro percentual absoluto médio (MAPE), maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e menor valor para o critério de informação de akaike (AIC). Os modelos de regressão também foram avaliados quanto à eficiência, por meio do teste t, ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos gráficos de ajuste (Figura 1), nota-se que os pontos se distribuem próximos à linha de tendência, o que indica que os modelos conseguem representar, de forma satisfatória, os valores para a área basal.

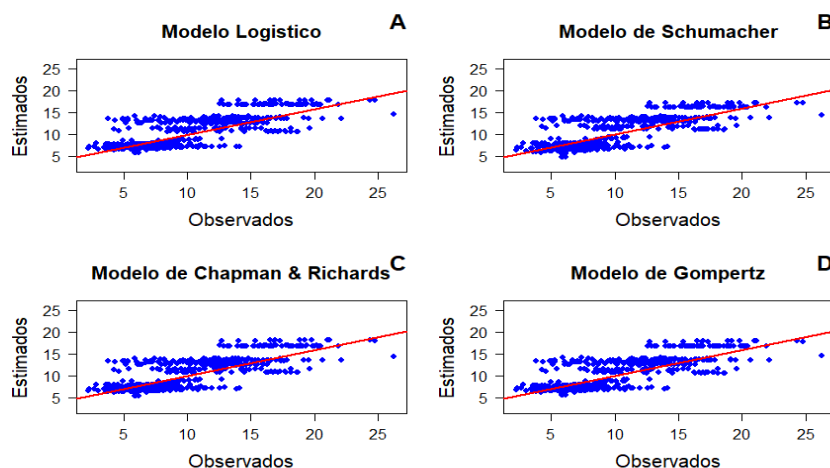


Figura 1 - Gráficos de ajuste dos modelos Logístico (A), Schumacher (B), Chapman & Richards (C) e Gompertz (D).

No que se refere aos valores observados e estimados, o coeficiente de correlação foi de aproximadamente 0,77 para ambos os modelos. No entanto, o estudo de Dias (2005), para estimação da produção futura em área basal, apresentou correlação maior que 0,80. Embora os resultados tenham sido superiores, os modelos do presente estudo ainda mostraram desempenho confiável, considerando a diferença nos dados e metodologias utilizadas.

A Tabela 1 apresenta os coeficientes estimados e os indicadores de desempenho dos modelos. A análise dos quatro modelos de regressão revela que todos apresentam coeficientes estatisticamente significativos. No entanto, é possível observar pequenas diferenças nos indicadores de desempenho que permitem identificar o modelo mais adequado para os dados analisados.

Tabela 1 - Coeficientes estimados e estatísticas de ajuste dos modelos Logístico (A), Schumacher (B), Chapman & Richards (C) e Gompertz (D). Níveis de significância: $p < 0,5$ (*), $p < 0,01$ (**); $p < 0,001$ (***).

Modelo	Coeficientes estimados	RSE	AIC	MSE	RMSE	MAE	MEDAE	R ² aj	MAPE (%)
A	$\beta_0 = 19,82792 \pm 1,01289$ ***	2707	4424,02	7,30	2,70	1,94	1,34	0,59	24,42
	$\beta_1 = 6,80255 \pm 0,46932$ ***								
	$\beta_2 = 0,61525 \pm 0,05027$ ***								
B	$\beta_0 = 26,63854 \pm 0,67128$ ***	2699	4417,75	7,27	2,70	1,94	1,38	0,59	24,41
	$\beta_1 = -2,91937 \pm 0,08133$ ***								
C	$\beta_0 = 25,95208 \pm 4,44795$ ***	2694	4415,06	7,23	2,69	1,93	1,34	0,60	24,35
	$\beta_1 = 0,21457 \pm 0,07351$ **								
	$\beta_2 = 1,31667 \pm 0,19646$ ***								
D	$\beta_0 = 21,63669 \pm 1,60499$ ***	2699	4418,66	7,26	2,69	1,93	1,37	0,59	24,36
	$\beta_1 = -2,63974 \pm 0,14624$ ***								
	$\beta_2 = 0,39565 \pm 0,04907$ ***								

O modelo de Chapman & Richards se destacou ligeiramente, apresentando o menor erro padrão residual (RSE= 2694) e o menor valor de AIC (4415,06), indicadores que apontam para um ajuste mais preciso e eficiente. Além disso, este modelo apresentou os menores valores de erro quadrático médio (MSE= 7,23), raiz do erro quadrático médio (RMSE= 2,69) e erro absoluto médio (MAE= 1,93), evidenciando maior precisão nas previsões. O R²aj para este modelo foi o mais alto (0,60), reforçando que este modelo explica melhor a variabilidade dos dados em comparação com os demais.

As métricas de erro absoluto foram bastante similares entre os modelos, com o modelo de Chapman & Richards apresentando valores ligeiramente inferiores, o que corrobora seu melhor desempenho. No entanto, o MAPE permaneceu relativamente constante entre todos os modelos, em torno de 24%, o que sugere que, apesar das diferenças, a precisão percentual média das previsões foi similar.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, ambos os modelos apresentaram bom ajuste aos dados coletados, embora tenham exibido pequenas diferenças nas

métricas de determinação. Com base nos valores analisados, o modelo de Chapman & Richards destacou-se, demonstrando o melhor ajuste e maior precisão na predição da área basal.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria agradecer à Universidade do Estado do Amapá pelo suporte institucional. Agradeço a empresa Amapá Florestal e Celulose S.A. pela disponibilização dos dados utilizados para o desenvolvimento desse estudo. Também registro minha gratidão ao IV Congresso Amapaense de Engenharia Florestal, pela oportunidade de divulgação científica e troca de experiências com profissionais e pesquisadores da área. Agradeço especialmente ao professor, Dr. Jadson Coelho de Abreu, pelo acompanhamento e valiosas orientações ao longo deste trabalho

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. Por dentro do eucalipto: aspectos sociais, ambientais e econômicos do seu cultivo. Belo Horizonte: AMS, 2009.

BRASIL. Florestas do Brasil em Resumo 2013: dados de 2007-2012. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: MMA, 2013. 198 p.

CAMPINHOS JR., E. A importância da produção de madeira de Eucalyptus geneticamente melhorado para os setores moveleiro e de construção civil: perspectivas e desafios. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Curitiba. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995.

DE VECHI, A.; JÚNIOR, C. A. O. M. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. Revista Valore, v. 3, n. 1, p. 495-507, 2018.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. Revista Árvore, v. 29, p. 731-739, 2005.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, v. 1, p. 50-58, 1995.

RODRIGUES, G. S. de S. C.; et al. Eucalipto no Brasil: expansão geográfica e impactos ambientais. 2024.