



Estimativa de altura por meio de modelos hipsométricos de um povoamento de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Fabaceae) em Minas Gerais

Pedro Alves Marques¹
Marcio Leles Romarco²
Juliana Fonseca Cardoso³
Marcelo Nunes Vilas Boas⁴
Luiana Rolim Azevedo⁵
Anthoinny Vitória dos Santos Silva⁶

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (alves.marques@ufvjm.edu.br),
² (marcioromarco@ufvjm.edu.br), ³ (juliana.cardoso@ufvjm.edu.br),
⁴ (boas.marcelo@ufvjm.edu.br), ⁵ (luiana.azevedo@ufvjm.edu.br),
⁶ (anthoinny.silva@ufvjm.edu.br)

RESUMO: Com a crescente demanda por produtos florestais oriundos de espécies nativas da Amazônia, o Paricá ganha espaço em florestas plantadas no Brasil. A fim de contribuir para suprir a carência de estudos que ajustem equações hipsométricas para espécies nativas, o presente trabalho tem como objetivo estimar com exatidão a altura de árvores em um plantio de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) por meio de relações hipsométricas. A área de estudo está localizada na Fazenda das Pedras, no município de Curvelo, Minas Gerais, Brasil. Os dados utilizados são provenientes de um censo florestal realizado em fevereiro de 2022 em um plantio experimental de 4 hectares com 72 meses de idade. Foram ajustadas 14 diferentes equações hipsométricas, sendo que as mesmas foram avaliadas por meio de estatísticas de qualidade e gráficos de resíduo. Os resultados apresentados mostram um desempenho superior dos modelos não lineares em todas as estatísticas avaliadas, quanto nos gráficos de resíduo, com destaque para o modelo de MMF, que mesmo indicando um ajuste melhor este não é satisfatório.

Palavras-chave: Paricá, altura, inventário florestal, regressão

Introdução

A espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) nativa da região Amazônica, tem sua madeira como principal produto comercial. A madeira de Paricá é usada na confecção de lâmina e compensado, forros, palitos, papel, móveis, acabamentos e molduras. Com a crescente procura por produtos florestais madeireiros e não madeireiros oriundos de espécies nativas da Amazonia, o Paricá junto a outras espécies ganha espaço a cada ano em florestas plantadas no Brasil (ABRAF, 2013).

O inventário florestal é um processo importante para conhecimento acerca das características de uma floresta, e fundamental para o manejo florestal (Kohler et al., 2017). Determinar as alturas de árvores em florestas é uma tarefa dispendiosa e mais complexa em relação à medição do diâmetro. Devido a isso, os inventários florestais empregam modelos hipsométricos para reduzir o tempo e os



custos necessários para obter essas informações (Mendonça et al., 2015). A variação nos padrões hipsométricos ocorre entre diferentes tipos de florestas e também pode variar em uma mesma tipologia florestal, dependendo da localização geográfica e da heterogeneidade ambiental e estrutural (Batista et al., 2014).

Estudos que ajustem equações hipsométricas para espécies nativas, ainda são incipientes, visto que existem muitas espécies nativas de alto valor econômico (Soares et al., 2011). Entre estas espécies se destaca o Paricá, visando contribuir para suprir esta carência. O presente trabalho tem como objetivo estimar por meio de relações hipsométricas, a altura de árvores, em um plantio de *Shizolobium amazonicum* (Paricá).

Materiais e métodos

A área de estudo está localizada na propriedade rural, Fazenda das Pedras, no município de Curvelo, Minas Gerais, Brasil (19°3'2.65" latitude Sul, 44°35'51.34" longitude Oeste com elevação de 711 m). O clima é do tipo Aw conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 23°C e umidade relativa do ar média de 67,2%. A precipitação da região é caracterizada por apresentar três meses do ano secos (junho, julho e agosto). A precipitação média anual está entre 1.100 e 1.200 mm (INMET, 2018).

Os dados utilizados para elaboração do presente trabalho são provenientes de um censo florestal realizado em fevereiro de 2022, de um plantio experimental com 72 meses de idade da espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke, sob um arranjo de 3,6m x 3,0 m, em uma área de 4 hectares. Para cada árvore foi mensurada a circunferência a 1,30 metros do solo em cm e a altura total, em m.

Foram geradas as estimativas hipsométricas por meio de modelos de regressão linear e não linear (Tabela 1).

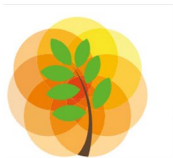


Tabela 1. Modelos analisados para estimação da relação hipsométrica.

Modelo	Forma do Ajuste
1	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \ln(Dap) + \varepsilon$
2	$Ht = \beta_0 + \beta_1 Dap^2 + \varepsilon$
3	$Ht = \beta_0 + \beta_1 Dap + \beta_2 Dap^2 + \varepsilon$
4	$Ht = \beta_0 + \beta_1 (1/Dap) + \varepsilon$
5	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Dap) + \varepsilon$
6	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Dap^2) + \varepsilon$
7	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 Dap + \beta_2 Dap^2 + \varepsilon$
8	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 (1/Dap) + \varepsilon$
9	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 Dap + \varepsilon$
10	$Ht = \beta_0 e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 Dap}} * \varepsilon$ (Gompertz)
11	$Ht = \frac{\beta_0}{(1 + e^{\beta_1 - \beta_2 Dap})^{1/\beta_3}} * \varepsilon$ (Richards)
12	$Ht = \frac{\beta_0 \beta_1 + \beta_2 Dap^{\beta_3}}{\beta_1 + Dap^{\beta_3}} * \varepsilon$ (MMF)
13	$Ht = \beta_0 - \beta_1 e^{-\beta_2 Dap^{\beta_3}} * \varepsilon$ (Weibull)
14	$Ht = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{\beta_2 Dap}} * \varepsilon$ (Logístico)

Em que: Ht = altura total da árvore (m); Dap = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); β = parâmetros do modelo; ε = erro aleatório.

Os ajustes foram avaliados por meio das estatísticas de qualidade. No caso dos modelos lineares foram usados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o coeficiente de correlação ($r_{y\hat{y}}$). Para os modelos não lineares, foram usados o erro padrão da estimativa (S_{yx}), viés (V), média das diferenças (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD). Além das estatísticas de precisão, foi realizada a análise gráfica dos resíduos.

Para ajuste dos modelos lineares foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários (Legendre, 1805). Para ajuste dos modelos não lineares o método Levenberg-Marquardt (Levenberg, 1944), (Marquardt, 1963). O processamento dos dados bem como as análises necessárias foram realizadas por meio dos softwares, R versão 2022.02.3+492 (R Core Team, 2021) com apoio da plataforma RStudio versão 09.1.372 (RStudio Team, 2022).

Resultados e Discussão

Os modelos lineares apresentaram todos os parâmetros significativos pelo teste t (Tabela 2), entre os não lineares, os modelos 11(Richards), 12(MMF) e 13(Weibull) possuíram parâmetros não significativos. Dentre os modelos lineares o modelo 8 foi superior aos demais, por apresentar maior valor de R^2_{aj} e as métricas restantes bem próximas e de menor valor (Tabela 2). O modelo 3 apresentou o menor resultado para as estatísticas de S_{yx} , MD e DPD, a métrica de viés apresentou valor mínimo nos modelos 5 e 6. Quanto as equações não lineares, o modelo 12 (MMF) expôs melhor adaptação, com maior valor de correlação, e menor valor para MD e DPD, as estatísticas de S_{yx} e V exibiram valor mínimo nos modelos 14 e 10 respectivamente.



Tabela 2. Coeficientes e estatísticas de avaliação dos modelos.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	$R^2_{aj} / r_{y\hat{y}} (\%)$	Syx	V	MD	DPD
1	-7,9493*	8,8365*			41,91	2,50	-0,15	1,96	2,29
2	11,2582*	0,0193*			31,54	2,82	-0,30	2,16	2,64
3	-2,8934*	-0,0449*	1,9445*		42,98	2,44	-0,14	1,92	1,99
4	22,2768*	-93,0844*			39,35	3,47	-0,03	2,11	3,32
5	0,8153*	0,7159*			47,74	2,55	0,01	2,02	2,35
6	0,8153*	0,3579*			47,74	2,55	0,01	2,02	2,35
7	0,9655*	0,1970*	-0,0051*		50,88	2,47	0,04	1,94	2,02
8	3,3007*	-8,0559*			51,14	2,46	0,04	1,94	2,24
9	2,0093*	0,0486*			38,92	2,74	-0,02	2,14	2,55
10	18,8286*	1,3904*	0,2193*		71,08	2,44	-0,13	1,91	1,99
11	18,6944*	-0,0337	0,2342*	0,2004	71,11	2,44	-0,14	1,91	1,72
12	2,7741*	817,3663	19,4113*	3,0068*	71,14	2,44	-0,14	1,91	1,72
13	18,4350*	18,0687*	0,0183	1,7508*	71,09	2,44	-0,14	1,91	1,72
14	18,3244*	9,7533*	0,2895*		71,13	2,44	-0,15	1,91	1,99

Os R^2_{aj} e $r_{y\hat{y}}$ dos modelos foram menores que 72%. Isso foi devido à correlação altura/diâmetro não ser tão forte. Essa relação foi observada em áreas de cultivo de Paricá nas cidades de Dom Eliseu, Paragominas e Rondon do Pará, com um R^2_{aj} de 0,66 (Silva, 2014) e em Ulianópolis com R^2_{aj} de 0,72 (Andrade & Santos, 2018). Observa-se que as medidas de dispersão de dados, Syx, V, MD, DMP, apresentaram de forma geral valores médios a altos, este resultado pode ser atribuído ao fato de ser um plantio seminal onde o clima e solo se difere ao qual espécie está adaptada (Cordeiro et al., 2020), o desenvolvimento dos indivíduos ocorreu de formas heterógena, com falhas de plantio e grande amplitude nas alturas por classe diamétrica.

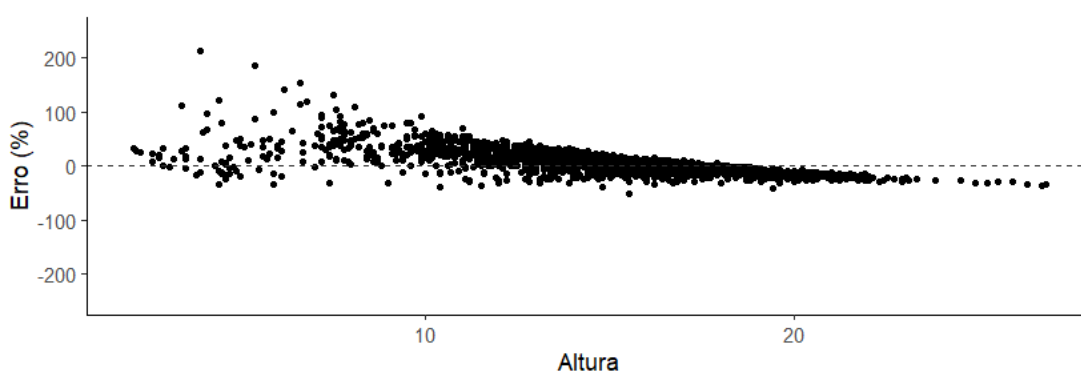


Figura 1.

Gráfico de dispersão dos resíduos do modelo 12 (MMF).

Os gráficos de resíduo mostram que em todos os modelos avaliados as árvores de menor altura foram as quais apresentaram maior erro para sua estimativa (Figura 1).



Conclusão

Em geral as equações hipsometrias não lineares apresentaram um melhor ajuste quando comparadas com as lineares, porém ainda não satisfatório, ao analisar todos as métricas estatísticas e os gráficos de resíduo se concluiu que a modelo MMF obteve melhor ajuste aos dados.

Referências bibliográficas

- ANDRADE, J. S.; SANTOS, G. S. Dinâmica do crescimento em altura de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá) no município de Ulianópolis-Pará. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural da Amazônia, p. 37, Belém, PA, 2018.
- ANUÁRIO ESTADÍSTICO ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: Abraf, 2013. 148p
- 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
- CORDEIRO, I.; SCHWARTZ, G.; BARROS, P. Efeitos do clima sobre o incremento diamétrico de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* – Fabaceae) em plantios comerciais. *Nativa*, v.8, n.2, p.246-252, 2020. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i2.9009>
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos de precipitação. 2018. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_gaf. Acessado em junho de 2022.
- KOHLER, S. V.; FILHO, A. F.; KOEHLER, H. S.; ARCE, RETSLAFF, F. A. DE S.; SERPE, E. L. Estratégias de agrupamento de dados para a modelagem hipsométrica e seus reflexos na estimativa de volume em plantios de *Pinus* spp. *Floresta*, Curitiba, v. 47, n.3, p. 307-316, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v47i3.50555>
- 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.
- LEVENBERG, K. A method for the solution of certain problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*, 2, p. 164-168, 1944.
- MARQUARDT, D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, 11, p. 431– 441, 1963.
- MENDONÇA, A. R. DE; CARVALHO, S. DE P. C. E; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, Lavras, MG, v. 21, n. 1, p. 107-115, 2015.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <http://www.r-project.org/>
- RSTUDIO INC. RStudio Server – RStudio, 2022. Disponível em: <https://www.rstudio.com/products/rstudio-server/>
- SOARES, C. P. B. MARTINS, F. B. JUNIOR, H. U. L. SILVA, G. F. DA. FIGUEIREDO, T. M. de. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v.35, n5, p.1039-1051, 2011.
- SILVA G. M. *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) na Amazônia oriental: Caracterização anatômica e modelagem de crescimento. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, p. 137, Lavras, MG, 2014.

