

RELAÇÕES HIPSONÉTICAS LINEARES PARA FUSTES EMERGENTES DO BIOMA AMAZÔNIA EM PORTO VELHO, RONDÔNIA

Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Luiz Flávio Nunes Costa, Rafael Gomes Leão, Tailhane Luiza Andrade de Sousa, Marco Tulio Chagas de Carvalho Gomes, Caroline Junqueira Sartori, Bruno Oliveira Lafetá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, vitoriaa.ferreira84@gmail.com, luiz.flavionunes02@gmail.com, rafaelgomesps2018@gmail.com, luizatailhane@gmail.com, marcotuliochagas34273@gmail.com, caroline.sartori@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo foi avaliar o desempenho de diferentes modelos lineares na estimativa hipsométrica de fustes emergentes do dossel florestal em Porto Velho, RO, bioma Amazônia. A amostragem consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m), em forma de cruz de Malta. Todos os fustes emergentes acima do dossel e com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) igual ou superior a 10,0 cm foram mensurados. Avaliaram-se os modelos de Curtis, Stoffels-Soest e Henricksen. As equações baseadas em variáveis preditoras logaritmizadas apresentaram maiores desvios, com altos valores de raiz quadrada do erro médio e média dos desvios absolutos. O modelo ajustado de Curtis revelou-se eficiente para a maioria dos fustes amostrados, especialmente aqueles com DAP entre 10 e 50 cm, que representaram 77,26% do total da amostra. Conclui-se que o ajuste de modelos hipsométricos lineares demonstrou potencial para a estimativa da altura de fustes na área de domínio amazônico em estudo. O modelo de Curtis foi preciso para a estimativa da altura de fustes com DAP entre 10 e 50 cm.

Palavras-chave: Altura. Diâmetro. Regressão linear.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal.

Introdução

Informações sobre a altura total de fustes emergentes de dosséis fornecem subsídios essenciais para a classificação da capacidade produtiva de sítios florestais, importante para a definição de estratégias de manejo sustentável (Batista *et al.*, 2014). Essas árvores demonstram maior eficiência na utilização e competição por recursos de crescimento, além de expressarem dominância em relação às árvores adjacentes de menor porte.

A modelagem hipsométrica por sua vez, é uma abordagem estatística bastante difundida na mensuração de plantas lenhosas, tornando a amostragem em campo menos onerosa e laboriosa. Isso se deve à possibilidade de obtenção da estimativa de altura com base apenas na medição de diâmetro do fuste, que é operacionalmente mais fácil de ser realizada (Lafetá *et al.*, 2021).

O estabelecimento de relações funcionais para a estimativa da altura total de fustes é de grande importância prática, especialmente em ecossistemas onde a visualização do ápice das copas é dificultada por vegetações densas, com dosséis fechados (Soares *et al.*, 2006; Campos; Leite, 2017). A metodologia mais simples para a modelagem hipsométrica é a regressão linear, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários para a parametrização de modelos matemáticos. Exemplos de modelos lineares frequentemente adotados no setor florestal incluem os de Curtis (1967), Stoffels e Soest (1953), Henricksen (1950) e Trorey (Trorey, 1932).

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar o desempenho de diferentes modelos lineares na estimativa hipsométrica de fustes emergentes do dossel florestal em Porto Velho, RO, bioma Amazônia.

Metodologia

Os dados biométricos utilizados no presente trabalho foram provenientes do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície no município de Porto Velho, Rondônia. A região se encontra em bioma amazônico e possui clima do tipo Am pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 26,1 °C e 2.216 mm, respectivamente (Climate-Data.Org, 2024).

O inventário foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e suas informações metodológicas se encontram disponibilizadas no Sistema Nacional de Informações Florestais (SBF, 2024). A amostragem consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50m. Todos os fustes emergentes acima do dossel e com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) igual ou superior a 10,0 cm foram mensurados usando fita diamétrica. A altura total dos fustes (H, m) foi obtida com auxílio de vara graduada.

Foram testados três modelos de regressão lineares de simples entrada para a estimativa da altura total em função exclusivamente do DAP (Tabela 1). Estes modelos são rotineiramente ajustados no setor florestal para a modelagem biométrica vegetal (Campos; Leite, 2017). Na análise de regressão, empregou-se o método dos mínimos quadrados ordinários. A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com a significância de parâmetros pelo teste t, além dos valores da Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), Média dos Desvios Absolutos (MDA) e coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2). Menores valores de RQEM e MDA implicaram em melhor qualidade preditiva. Realizou-se análise de inspeção gráfica dos valores observados e estimados de altura.

Tabela 1 – Modelos lineares testados para a estimativa da altura total (H, m) de fustes emergentes do dossel em área de domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia.

Modelo	Forma de ajuste	Autor
M1	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \varepsilon$	Curtis (1967)
M2	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \varepsilon$	Stoffels e Soest (1953)
M3	$H = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \varepsilon$	Henricksen (1950)

β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos de regressão e ε = erro aleatório.
Fonte: o autor.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), ao nível de significância de 5%.

Resultados

O inventário florestal contemplou 972 fustes com DAP de 10 a 191 cm e altura total de 5,7 a 48 m. Os parâmetros dos modelos testados e a qualidade dos ajustes estão apresentados na Tabela 2. Todos os parâmetros das equações foram significativos ($p \leq 0,05$). As equações baseadas em variáveis preditoras logaritmizadas apresentaram maiores desvios, com altos valores de RQEM e MDA. O coeficiente de determinação ajustado referente ao ajuste do modelo de Curtis (1967) foi o mais alto para a modelagem, valor próximo a 90%.

Tabela 2 - Coeficientes e qualidade de ajuste dos modelos lineares para a estimativa da altura de fustes emergentes do dossel em área de domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia

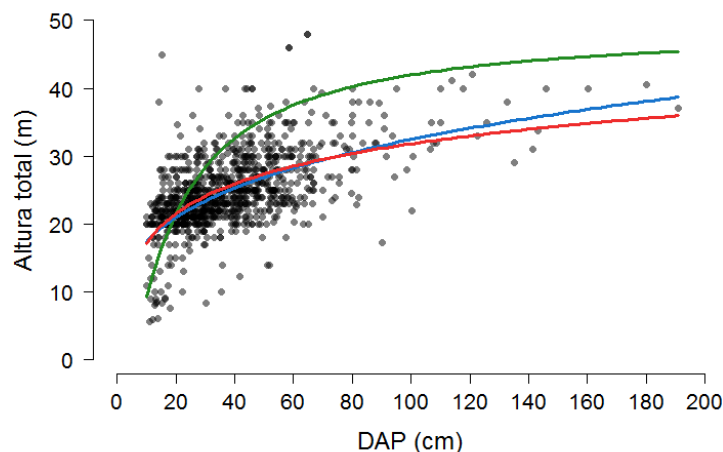
Modelos	β_0	β_1	RQEM	MDA	\bar{R}^2
M1	3,904657*	-16,781649*	2,0617	1,4114	0,8931
M2	2,228450*	0,271811*	4,6119	3,3563	0,3167
M3	2,312285*	6,406630*	4,6012	3,3910	0,3379

β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos lineares de regressão; RQEM = raiz quadrada do erro médio; MDA = média dos desvios absolutos; e \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: os autores.

As estimativas hipsométricas do modelo ajustado de Curtis (1967) foram as mais precisas para fustes de menores diâmetros, perdendo acurácia em relação às medidas de altura observadas nos maiores indivíduos (Figura 1). Essa relação de desempenho preditivo se inverteu nos modelos ajustados de Stoffels e Soest (1953) e Henricksen (1950). Todas as equações demonstraram um comportamento assintótico crescente da altura em função do diâmetro.

Figura 1 - Representações gráficas da modelagem linear hipsométrica de fustes emergentes em área de domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia. Verde = Curtis (1967); Azul = Stoffels e Soest (1953); e Vermelho = Henricksen (1950)



Fonte: os autores.

Discussão

Estabeleceram-se três relações funcionais lineares para a estimativa da altura de fustes em uma área de domínio amazônico no município de Porto Velho, RO. Diante da variabilidade genética e ambiental intrínseca ao ecossistema tropical (Taiz; Zeiger, 2013), a qualidade de ajuste dos modelos foi considerada satisfatória do ponto de vista estatístico. Os modelos ajustados delinearam parte dessa complexidade estrutural, refletindo de forma geral a relação entre diâmetro e altura.

A análise do desempenho do modelo ajustado de Curtis (1967) revelou sua eficiência para a maioria dos fustes amostrados, especialmente aqueles com DAP entre 10 e 50 cm, que representaram 77,26% do total da amostra (Tabela 2 e Figura 1). Salienta-se que fustes emergentes de menor altura indicam áreas menos produtivas ou que estão em processo de regeneração, destacando a importância de um manejo florestal adaptado às diferentes fases de crescimento das árvores (Souza; Soares, 2013).

A altura total de indivíduos emergentes no dossel é tradicionalmente utilizada como métrica para a classificação da capacidade produtiva de sítios florestais (Campos; Leite, 2017). Essa classificação produtiva é relevante para o planejamento de estratégias sustentáveis que promovam a administração racional dos recursos madeireiros. A modelagem hipsométrica por sua vez, mostrou-se útil para estimativa do potencial de crescimento a partir dos maiores diâmetros amostrados em um inventário florestal na região de estudo.

Conclusão

O ajuste de modelos hipsométricos lineares demonstrou potencial para a estimativa da altura de fustes na área de domínio amazônico em estudo no município de Porto Velho, RO. O modelo de Curtis (1967) foi preciso para a estimativa da altura de fustes com DAP entre 10 e 50 cm.

Referências

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: UFV. 2017. 636p.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: São João Evangelista. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rondonia/porto-velho-3120/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

CURTIS, R. O. Height, diameter and height diameter age equations for second growth Douglas-fir. **Forest Science**, v. 13, p. 365-375, 1967.

HENRICKSEN, H. A. Height-diameter curve with logarithmic diameter: brief report on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch. **Dansk Skovforen Tidsskr**, v. 35, p. 193-202, 1950.

LAFETÁ, B. O.; CARVALHO, F. A. N.; ASSUNÇÃO, S. D.; SANTOS, M. A.; PERPÉTUO, I. A.; PIMENTA, I. A.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. S. Crown quality and hipsometric relationships for Rubiaceae family in water springs of Atlantic forest fragment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 402-410, 2021.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2024.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Sistema nacional de informações florestais. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/inventario-florestal-nacional-ifn>>. Acesso em 1 ago. 2024.

SOARES, C. P. B., PAULA NETO, F., SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 276p.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.

STOFFELS, A.; SOEST, J. V. The main problems in sample plots. **Ned Bosbouwtijschr**, v. 25, p. 190-199, 1953.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TROREY, L. G. A mathematical method for construction of diameter: height curves bases on site. **Forestry Chronicle**, v. 8, n. 2, p. 121-132, 1932.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio logístico e estrutural para a realização do presente projeto.

Ao Serviço Florestal Brasileiro pela disponibilização gratuita dos dados do Inventário Florestal Nacional.