



USO DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA UMA ÁREA DE MATA NATIVA NO MUNICÍPIO DO OIAPOQUE 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 ajustar cinco modelos matemáticos de relação hipsométrica (Linha Reta; Parabólico, Henricksen, Stoffel; Curtis) para estimativa de altura na Amazônia. Os dados são provenientes do levantamento de campo realizado em uma área de 1000 m² sob denúncia de supressão de árvores para fins madeireiros no município do Oiaipoque-AP. Para os modelos testados se utilizaram como variável dependente altura total (H) e independente o diâmetro a 1,30 m do solo (D). Foram analisadas estatisticamente: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) e a distribuição gráfica dos resíduos. As equações que apresentaram os menores valores (absolutos e relativos) foram os testados pelos modelos de Curtis e Stoffel, com R^2_{ajust} , 0,48 e 0,47 respectivamente. Quanto à análise residual os modelos, Linha Reta, Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis ao modelo de Henricksen. Pois, nestes modelos observa-se uma homogeneidade dos resíduos. Portanto, como, são poucos os estudos das relações hipsométricas em espécies de mata nativa, em especial a Amazônia Brasileira, sugere, avaliar uma quantidade maior da amostra, bem como testar outros modelos hipsométricos para poder compreender melhor o comportamento da relação H/D.

Palavras-chave: Amazônia; equações; floresta nativa

USE OF HYPSONOMETRIC MODELS FOR A NATIVE FOREST AREA IN THE MUNICIPALITY OF OIAPOQUE IN AMAPÁ STATE, BRASIL

ABSTRACT

The objective of the study was to adjust five mathematical models of hypsonometric relationship (Straight Line; Parabolic, Henricksen, Stoffel; Curtis) for the height of 20 forest species in the Amazon. The data come from the field study conducted on an area of 1000 m² under a complaint of tree felling for timber purposes in the municipality of Oiaipoque-AP. For the models tested, the dependent variable was total height (H) and the diameter at 1.30 m from the ground (D) was used as the independent variable. The following were analyzed statistically: adjusted coefficient of determination (R^2_{adjust}), standard error of percentage estimate ($S_{yx}\%$) and graphical distribution of residuals. The models that presented the lowest values (absolute and relative) were those tested by the Curtis and Stoffel models, with R^2_{adjust} 0.48 and 0.47 respectively. As for the residual analysis, the models, Straight Line, Curtis and Stoffel were slightly more favorable to Henricksen's model. Therefore, in these models there is a homogeneity of the residues. Therefore, as there are few studies on hypsonometric relationships in native forest species, especially in the Brazilian Amazon, we suggest evaluating a larger sample size, as well as testing other hypsonometric models in order to better understand the H/D relationship.

Key words: Amazon; equations; native Forest

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

O município de Oiapoque, localizado a 600 km de Macapá, capital do estado do Amapá, apresenta fitofisionomias florestais representativas do bioma Amazônico. Porém, as espécies florestais ali existentes apresentam uma fragilidade, devido à exploração ilegal da madeira, aliado à carência de informações sobre as espécies nativas. Porém, a mensuração florestal em florestas nativas não é tarefa fácil, devido à complexidade em visualizar a copa das árvores (Abreu *et al.*, 2011).

Assim, é importante conhecer o povoamento florestal por meio da relação hipsométrica, que consiste correlacionar a variável altura de uma árvore em função de seu D (relação altura-diâmetro), permitindo assim, o detalhamento da estrutura vertical do povoamento (Azevedo *et al.*, 2011).

Se tratando de florestas nativas, a distribuição diamétrica de espécies florestais é de extrema importância para o manejo sustentável das florestas, pois na sua maioria apresentam grande interesse econômico. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo ajustar cinco modelos matemáticos de relação hipsométrica para a altura de espécies florestais da Amazônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em uma área que fica ao lado da base da Aeronáutica nas coordenadas geográficas: N03°50'216" W051°49'293" Município de Oiapoque, Amapá. O levantamento de campo foi realizado em uma área de 1000m² sob denúncia de supressão de árvores para fins ilegais do uso da madeira. Foram identificadas 20 árvores e mensuradas a circunferência a 1,30 m do solo (C), com fita métrica, posteriormente transformada em diâmetro (D), e uma trena para medir a altura total (H) das árvores suprimidas. Após a obtenção dos dados de D e H, eles foram empregados para o ajuste de modelos de relação hipsométrica: Linha Reta; Parabólico; Henricksen; Stoffel e Curtis. Utilizando-se o software Office Excel (2018) como ferramenta de análise para regressão e para fins de processamento das avaliações.

Ajuste de modelos hipsométricos

Foram testados quatro modelos hipsométricos (Tabela 1) sendo utilizada como variável dependente altura e a variável independente o diâmetro de espécies arbóreas da Amazônia.

Tabela 1. Modelos hipsométricos ajustados para estimativa da variável altura em espécies arbórea da Amazônia

Número	Nome	Modelo
1	Linha Reta	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$
2	Parabólico	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 * D^2 + \varepsilon$
3	Henrickson	$H = \theta_0 + \theta_1 \ln D + \varepsilon$
4	Stoffel	$\ln H = \theta_0 + \theta_1 \ln D + \varepsilon$
5	Curtis	$\ln H = \theta_0 + \theta_1 1/D + \varepsilon$

Em que: H - Altura total das árvores (m); β_0, β_1 = parâmetros do modelo; Ln- logaritmo neperiano; D - diâmetro à 1,30 m do solo; ε - erro aleatório

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

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 (%) foi realizada para 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 espécies arbóreas (Figura 1), percebe-se uma amplitude diamétrica de 0,40 cm a 1,00 m e a altura de 10,0 m a 29 m.

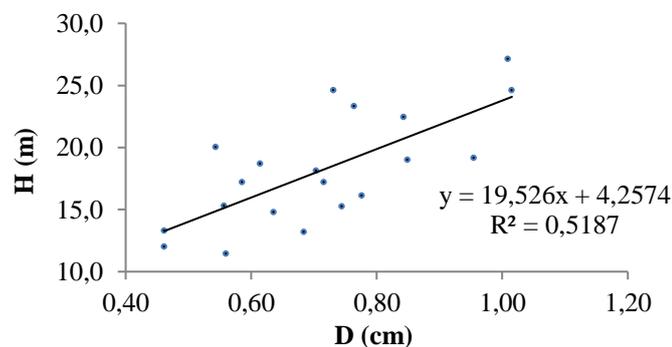


Figura 1. Distribuição dos dados observados de altura em função do diâmetro à 1,30 m do solo para espécies arbóreas no município do Oiapoque-AP

É importante observar que, por se tratar de espécies nativas, bem como, em plantios mistos, apresenta uma maior heterogeneidade no desenvolvimento das árvores (Ré *et al.*, 2015). Em relação a estimativas dos parâmetros, observa-se que as espécies arbóreas nativas as quais apresentam fustes tortuosos, pouco aproveitáveis, acabaram gerando uma maior discrepância na relação H/D, isto é, diâmetros elevados e alturas pequenas, ou alturas elevadas com diâmetro menor, gerando assim, uma baixa correlação dessas duas variáveis e valores de R^2_{aj} , não elevados, bem como um menor desempenho das demais estatísticas (Hess *et al.*, 2014). Para compreender melhor a correlação entre as variáveis, foram realizados os ajustes de cinco modelos hipsométricos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos hipsométricos utilizados para obtenção da altura (m) em função do diâmetro à altura do peito (cm), em 20 espécies arbóreas inventariadas no município do Oiapoque

Modelo	Equação Matemática
Linha Reta	$H=4,2574 + 19,5256D$
Parabólico	$H = 7,92509 + 9,13771D - 7,03015D^2$
Henricksen	$H= 23,136 - 13,62LnD$
Stoffel	$H=EXP(3,067 + 0,7575LnD)1,0159$
Curtis	$H=EXP(3,6096 - 0,5*I/D)1,0163$

Em que: H - Altura das árvores (m); Ln - logaritmo neperiano; D - diâmetro 1,30m do solo (cm)

Os ajustes dos cinco modelos hipsométricos apresentaram um R^2_{aj} , inferior a 0,5 que pode ser considerado baixo grau de ajuste, da mesma forma que é comum para levantamentos de espécies

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

nativa, as quais também apresentarem maior erro padrão da estimativa. Para o presente estudo as equações que apresentaram os menores valores (absolutos e relativos de erro padrão), foram os testados pelos modelos de Curtis e Stoffel, ambos apresentaram melhores desempenhos. Analisando o critério de importância, o modelo de Linha Reta apresentou o maior R^2_{aj} . em seguida o modelo de Curtis, conforme apresentado na Tabela 3 em que o modelo de Curtis apresentou com S_{yx} de 15% e R^2 igual a 0,48.

Tabela 3. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos nos ajustes dos modelos hipsométricos em 20 espécies arbórea inventariadas no município do Oiapoque

Modelos	Estatística de Ajuste					
	b_0	b_1	$R^2_{ajustado}$	S_{xy}	$S_{xy}\%$	F
Linha Reta	4,257	19,525	0,49	3,19	17,57	19,40
Parabólico	7,907	9,137	0,46	3,27	18,03	9,23
Henricksen	23,136	13,624	0,47	3,22	17,80	18,40
Curtis	3,609	-0,49	0,48	2,74	15,27	17,75
Stoffel	3,146	0,757	0,47	2,67	14,77	18,82

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

Em análise da estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia, Sanquetta *et al.* (2017) observaram que os modelos hipsométricos Linha Reta, Stoffel, Curtis e Henricksen, apresentaram resultados satisfatórios, com S_{yx} de 15% e R^2 variando entre 0,5443 e 0,5946, sendo o modelo de Henricksen selecionado como o melhor. Hess *et al.* (2014) ajustaram modelos de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica e obtiveram R^2_{aj} variando desde 0,17 até o valor de 0,97 e entre 0,08 % e 13,2 % e relatam a complexidade do ajuste de modelos hipsométricos em mata nativa. Segundo Abreu *et al.* (2011), estudos dessa natureza ainda é escasso no estado do Amapá, o que dificulta na definição do melhor modelo ajustado.

É possível observar que os modelos, Linha Reta, Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis ao modelo de Henricksen (Figura 2). Pois nestes modelos observa-se uma homogeneidade dos resíduos. Na análise residual observa-se que o modelo de Henricksen pode subestimar até 10%. Segundo Machado *et al.* (2019), quando ajustaram modelos hipsométricos em um fragmento do Cerrado em Tocantis, verificaram na análise residual, uma tendência dos modelos de superestimar a altura, chegando até 40 %.

CONCLUSÃO

Com base na distribuição dos resíduos, juntamente com o erro padrão da estimativa (S_{yx}), o modelo de Henricksen foi o único que não se ajustou bem aos dados. Como, são poucos os estudos das relações hipsométricas em espécies de mata nativa em especial a Amazônia Brasileira, sugere, avaliar uma quantidade maior da amostra, bem como testar outros modelos hipsométricos para poder compreender melhor o comportamento da relação H/D.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

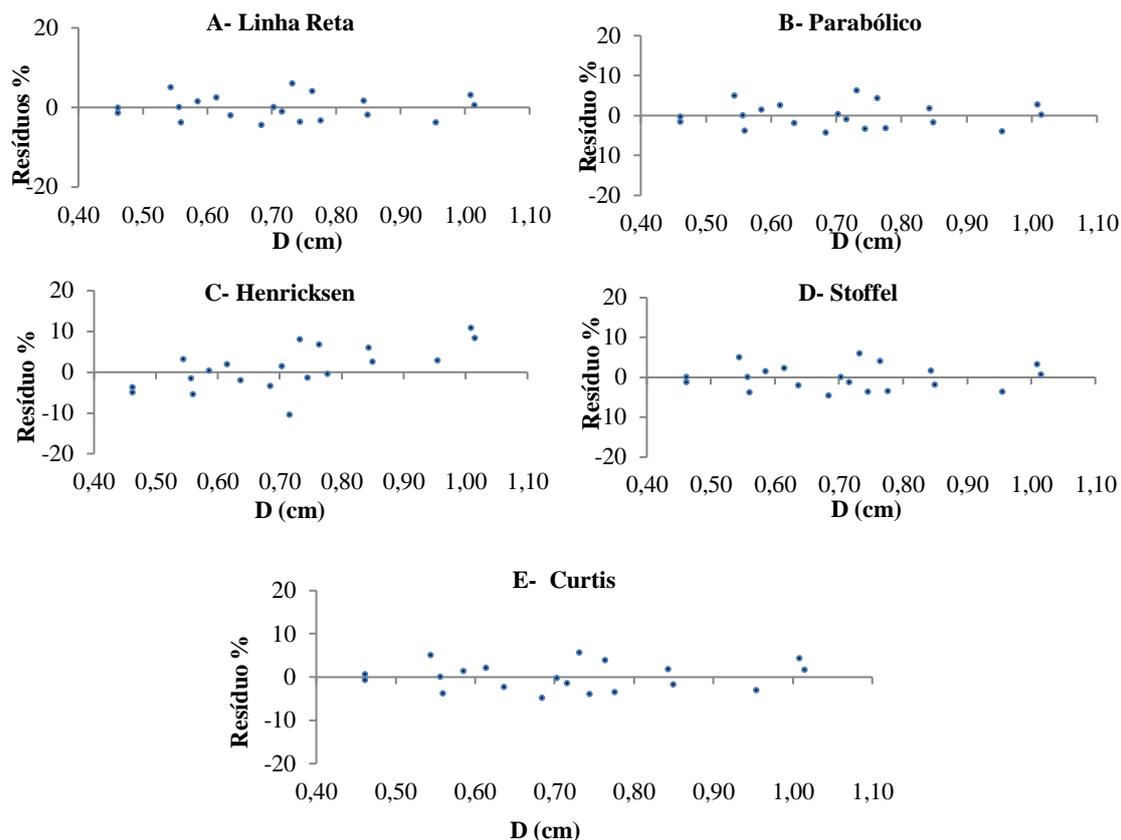


Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos de cinco modelos hipsométricos, em função da altura total observada em 20 espécies arbórea inventariadas no município do Oiapoque. Distribuição dos resíduos em função do diâmetro à 1,30 m do solo (D em cm), em que **A** - Modelo da Linha Reta; **B** – Modelo Parabólico, **C** - Modelo de Henricksen, **D** - Modelo de Stoffel; **E** - Modelo de Curtis

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. C.; Marangon, G. P.; Anjos, R. V.; Holanda, A. C. Modelagem hipsométrica em uma floresta de várzea na região adjacente a foz do rio Amazonas. **Revista Verde**, v.6, n.4, p. 213 - 218. 2011. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1095>. Acesso em: 12 Mar. 2023.
- Azevedo, G. B.; Sousa, G. T. O.; Silva, H. F.; Barreto, P. A. B.; Novaes, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p.1-13, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4528>. Acesso em: 11 Mar. 2023.
- Hess, A.F.; Braz, E.M.; Thaianes, F.; Mattos, P.P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência**, v.10 n.1 p.21-29, 2014. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.01.02>.
- Machado, I. E. S.; Medeiros, P.C.A.; Carvalho, C.A.M.; Santana, T. F.; Andrade, V. C. de L. Modelos hipsométricos ajustados para um fragmento de cerrado Sensu Stricto Tocantinense. **Revista Agrogeambiental**, v. 11, n. 1, e20191174, 2019. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n120191174>.
- Sanquetta, C. R.; Sanquetta, M. N. I.; Bastos, A.; Queiroz, A.; Corte, A. P. D. Estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2 n. 2, p. 23-31, 2017. <https://doi.org/10.5380/biofix.v2i2.54124>.
- Ré, D. S.; Engel, V. L.; Ota, L. M. S.; Jorge, L. A. B. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 133-140, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521011452>.