









## AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA *Mora paraensis* (Ducke)

### Ducke EM FLORESTA DE VÁRZEA ESTUARIANA DO DISTRITO DE ITAPUÃ, GURUPÁ-PA

Bianca Caroline Souza Brandão<sup>1</sup>, Robson Borges de Lima<sup>1</sup>, Jadson Coelho de Abreu<sup>1</sup>,  
Perseu da Silva Aparício<sup>1</sup>, Adriano Castro de Brito<sup>1</sup>, Ludi Mila da Trindade Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: bianc5557@gmail.com; robson.lima@ueap.edu.br; jadson.abreu@ueap.edu.br; perseu.aparicio@ueap.edu.br; adriano.brito@ueap.edu.br; ramosludimila29@gmail.com  
Autora correspondente: Bianca Caroline Souza Brandão. E-mail: bianc5557@gmail.com.

#### RESUMO

Entre as variáveis dendrométricas está a altura, sendo esta, uma importante variável obtida por meio do inventário florestal. Todavia, frequentemente faz-se a medição de algumas alturas em campo e posteriormente a utilização de relação hipsométrica para estimar as demais alturas do povoamento. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo analisar e selecionar o modelo que melhor se ajusta para a estimação de altura de um povoamento de *Mora paraensis* (pracuúba) no distrito de Itapuã, município de Gurupá, utilizando relações hipsométricas. Por meio do inventário florestal realizado no povoamento de *Mora paraensis*, obteve-se os diâmetros e as alturas. A partir disso, foram testados quatro modelos de relação hipsométrica, sendo eles: Arabatzis & Burkhardt, Stofells, Linha-reta e Parabólico. Os critérios para selecionar o melhor modelo foram: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão, erro padrão de estimativa e análise gráfica dos resíduos em porcentagem. De acordo com os critérios analisados, o modelo que melhor estimou a altura de *Mora paraensis* (pracuúba) foi modelo Parabólico.

**Palavras-chave:** Manejo florestal; modelos tradicionais; relação altura-diâmetro

### ADJUSTMENT OF HYPSONOMETRIC EQUATIONS FOR *Mora paraensis* (Ducke) Ducke IN ESTUARIAN FLOODS FOREST IN ITAPUÃ DISTRICT, GURUPÁ-PA, BRAZIL

#### ABSTRACT

Among the dendrometric variables is height, which is an important variable obtained through the forest inventory. However, some heights in the field are often measured and then the hypsonometric ratio is used to estimate the remaining heights of the stand. Thus, this work aimed to analyze and select the model that best fits to estimate the height of the *Mora paraensis* (pracuúba) stand in the district of Itapuã, municipality of Gurupá, using hypsonometric relationships. Through the forest inventory carried out in the settlement of *Mora paraensis*, diameters and heights were obtained. From this, four models of hypsonometric relation were tested, namely: Arabatzis & Burkhardt, Stofells, Straight-line and Parabolic. The criteria for selecting the best model were: adjusted coefficient of determination, standard error, standard error of estimation and graphical analysis of residuals in percentage. According to the analyzed criteria, the model that best estimated the height of *Mora paraensis* (pracuúba) was the Parabolic model.

**Key words:** Forest management; traditional models; height-diameter ratio



### INTRODUÇÃO

O inventário florestal é uma prática que tem por objetivo colher informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada (Péllico Netto & Brena, 1997). Entre essas informações está a altura, variável de difícil obtenção em florestas naturais, devido a vegetação densa e o dossel superior elevado. Uma alternativa para solucionar tal problema tem-se o uso de equações hipsométricas, conforme Batista (2001) a relação hipsométrica é um modelo dendrométrico de construção mais simples, que no geral, produz excelentes estimativas para altura das árvores.

Segundo Cunha (2004), no que diz respeito ao inventário florestal esta relação é utilizada para fornecer alturas de árvores que tiveram apenas seu diâmetro medido, partindo de pequena subamostra de alturas e diâmetros mensurados.

Desse modo, o objetivo desse estudo foi ajustar e selecionar modelos para estimativa de altura de *Mora paraensis* (Ducke) Ducke (pracuúba) no distrito de Itapua, município de Gurupá, fazendo uso relações hipsométricas.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na área de várzea estuarina, localizada na região norte da ilha grande de Gurupá no distrito de Itapua (0°35'37.87" S e 51°27'26.40" O), município de Gurupá, norte do estado do Pará, no nordeste da Amazônia.

Segundo a classificação de Köppen, a área possui clima do tipo "Ami" (clima tropical de monção) o regime pluviométrico anual definido por estação seca que quase sempre ocorre após o solstício de inverno. A precipitação média anual é em torno de 2.500 mm e a temperatura média anual de 26 °C, no que diz respeito a topografia da região, esta é plana a suavemente ondulada, com predomínio de solos hidromórficos, variando de húmicos a pouco húmicos (Gama *et al.*, 2005).

#### Coleta de Dados

Na área definida para este estudo, foi realizado um inventário florestal censitário de árvores caídas naturalmente. Os indivíduos mensurados tiveram como parâmetro de seleção a qualidade do fuste em condições aceitáveis, sem deformidades ou tortuosidades, dessa forma garantindo a coleta do diâmetro a 1,30 m da base, galhos ou copa para a coleta da altura total do indivíduo. Foram amostrados um total de 6 árvores com a média de altura de 19,5m e de diâmetro de 38,8 cm.

#### Modelos Hipsométricos

Para análise da relação hipsométrica foram utilizados 4 modelos (Tabela 1) e posteriormente realizada a seleção do modelo que melhor estimou a altura das árvores restantes no local. De

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

acordo com Couto & Bastos (1987), não se pode fazer uso de um único modelo para uma espécie, rotação, idade ou local, pois, para cada condição florestal há também parâmetros específicos.

**Tabela 1.** Modelos de relações hipsométricas testados para a *Mora paraensis*

Modelo	Autor
$H = \beta_0 e^{\beta_1 D} \varepsilon$	Arabatiz & Burkhart
$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \varepsilon$	Stofells
$H = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$	Linha reta
$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$	Parabólico

Em que: H = altura total em metros; D = diâmetro 1,30m do solo em cm; ln = logaritmo neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Foi realizada ainda a correção da discrepância logarítmica, empregando-se a fórmula Meyer, conforme a Equação 1.

$$IM = e^{0,5 \cdot QMRes} \quad (1)$$

Em que: IM = índice de Meyer; QMRes = quadrado médio do resíduo.

### Critérios para a Seleção dos Modelos

Para a seleção do melhor modelo foram considerados os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) e erro padrão em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ), bem como a análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação ajustado, pode variar de 0 a 1, isto é, de 0% a 100% a explicação da variação da variável dependente pela variação da independente, quanto maior for o valor do coeficiente, mais satisfatório o modelo será (Nicoletti *et al.*, 2016).

Por sua vez, o erro-padrão vai expressar o quanto em termos médios os valores observados podem variar em relação aos valores estimados. Assim sendo, valores menores expressam modelos melhores (Nicoletti *et al.*, 2016).

Já o erro-padrão relativo, vai representar o erro-padrão em porcentagem, obtendo-se pela razão entre esse último e a média da variável dependente. Da mesma forma, quanto menor esse valor, melhor o modelo é (Nicoletti *et al.*, 2016).

Ainda de acordo com Nicoletti *et al.* (2016), o erro-padrão da estimativa juntamente com a análise gráfica compõem os mais importantes critérios para se selecionar um modelo, sendo assim fatores decisivos para a escolha.

As análises de representatividade, foram realizadas utilizando o *software* R Core Team (2022) e a planilha eletrônica Microsoft Excel® (2021).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo 4 obteve o maior valor de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,972 sendo este um resultado satisfatório, enquanto o modelo 1 obteve o menor valor de 0,212, seguido dos modelos 2 e 3 com 0,432 e 0,613 respectivamente, mostrando assim baixa correlação entre as variáveis D e altura (Tabela 2).

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos dos modelos de relações hipsométricas para a *Mora paraensis*

Modelo	b0	b1	b2	IM	R2	R2 <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> %
1 – Arabatzis & Burkhart	3,201252	-7,29953	-	1,02903	0,370	0,212	5,58	28,61
2- Stofells	1,860545	0,308113	-	1,02123	0,545	0,432	4,74	24,30
3- Linha-reta	10,72623	0,22642	-	-	0,690	0,613	3,91	20,06
4 - Parabólico	22,54916	-0,52671	0,008928	-	0,983	0,972	1,06	5,41

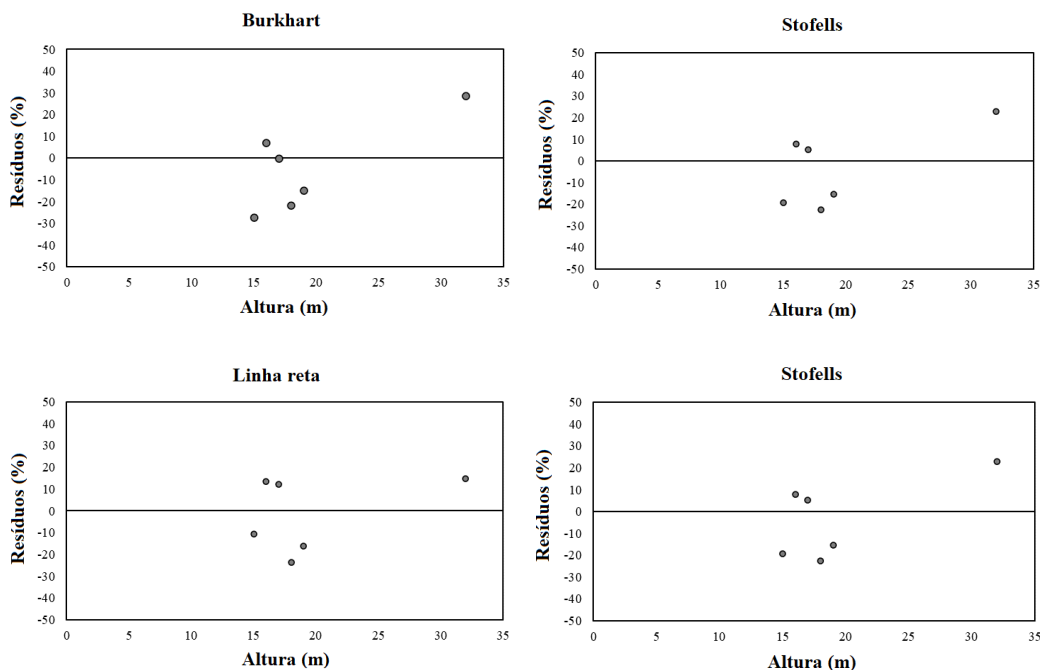
Em que:  $b_i$  = estimativa dos parâmetros do modelo ( $i = 0, 1, 2, 3$ ); IM = índice de Meyer;  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa;  $S_{yx} \%$  = erro padrão da estimativa em porcentagem.

Os modelos 1, 2 e 3 apresentaram erros padrão de estimativa ( $S_{yx} \%$ ) consideráveis, isto é, acima de 10%, sendo que o modelo 1 apresentou o maior valor, com 28,61%, seguido do modelo 2 e 3 com 24,30% e 20,06%, o modelo 4 foi o que apresentou menor valor de erro padrão com 5,41% se sobressaindo dos demais.

Assim sendo, é possível observar que a relação hipsométrica para o povoamento da espécie estudada, se mostrou de maneira geral, como uma relação biológica fraca, tendo em vista os valores reduzidos dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e resultados consideráveis de ( $S_{yx} \%$ ) para os modelos 1, 2 e 3. No entanto, o modelo 4 mostrou resultados satisfatórios tanto para o ( $R^2_{aj}$ ) quanto para o erro padrão da estimativa.

Embora os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para escolher um modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, permitindo detectar se existe ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão (Machado *et al.*, 2002).

Na Figura 1, é possível observar que apesar de alguns modelos apresentarem o ( $R^2_{aj}$ ) relativamente baixos e ( $S_{yx} \%$ ) consideráveis, a distribuição de resíduos não obteve indicativos de tendências aparentes ao longo da linha de regressão.



**Figura 1.** Distribuição dos resíduos para os modelos testados para a *Mora paraensis*

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

No entanto, é perceptível que o modelo Parabólico mostra uma menor amplitude residual (se aproximando mais do eixo zero), tanto para subestimar como superestimar os resultados, em comparação com os demais modelos, dessa forma, este é o modelo que melhor estima a altura para a *Mora paraensis*.

Em estudo sobre a acurácia de relações hipsométricas para diferentes estratégias de validação em *Eucalyptus urograndis*, Oliveira *et al.* (2016) observaram ajustes que resultaram em erros bem distribuídos em relação a média, onde o modelo parabólico foi o melhor para estratégias de ajuste com 5, 15 e 20 árvores.

Em um estudo sobre ajuste de modelos hipsométricos em povoamento de *Eucalyptus* sp. no Cerrado amapaense, Pereira *et al.* (2023) concluíram que os modelos de relação hipsométrica Parabólico e Linha reta mostraram as melhores medidas de precisão para a relação altura-diâmetro, com uma pequena vantagem para o modelo Parabólico tendo em vista o seu menor valor de erro padrão da estimativa.

### CONCLUSÃO

A partir dos resultados dos critérios avaliados e análise dos gráficos de resíduos, o modelo Parabólico foi o melhor modelo para a estimativa da variável altura total de *Mora paraensis* (Ducke) Ducke (pracuúba) no distrito de Itapuã, município de Gurupá – PA.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, J. L. F. **Mensuração de árvores**: uma introdução à dendrometria. Piracicaba: ESALQ, 2001. 85p. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/Mensuracao\\_de\\_Arvores.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/Mensuracao_de_Arvores.pdf). Acesso em: 23 Jun. 2023.
- Couto, H. T. Z.; Bastos, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.33, p.33-44, 1987. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr37/cap04.pdf>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Cunha, U. S. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus: Escola Agrotécnica de Manaus, 2004. 58p. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/dendroinv.pdf>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Gama, J.R.V.; Bentes-Gama, M. M.; Scolforo, J. R. S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p.719-729, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500007>.
- Machado, S. A.; Conceição, M. B.; Figueiredo, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n.2, p.185-197, 2002. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/230455199.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Nicoletti, M. F.; Souza, K.; Silvestre, R.; França, M. C.; Rolim, F. A. Relação hipsométrica para *Pinus taeda* L. em diferentes fases do ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 80-89, 2016. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051513>.
- Oliveira, R. R.; Oliveira, X. M.; Silva, G. C. C.; Mayrinck, R. C. Acurácia de relações hipsométricas para diferentes estratégias de validação em *Eucalyptus urograndis*. **Revista Verde**, v. 11, n. 5, p.123-127, 2016. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i5.3746>.
- Péllico Netto, S. Brena, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Os Autores, 1997. 316p.
- Pereira, A. R. S.; Silva, J. N. M.; Almeida, M. R. D.; Rabelo, F. G.; Abreu, J. C.; Cordeiro, M. A.; Lima, R. B.; Lima, R. S. Ajuste de modelos hipsométricos em povoamento de *Eucalyptus* sp. no Cerrado amapaense. In: Andrade, J. K. B. (Org.). **Estudos em ciências biológicas e florestais**. Campina Grande: Licuri, 2023, p.68-76. <https://doi.org/10.58203/Licuri.20416>.
- R Development Core Team. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 30 Mai. 2023.