



# VIII CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL

27 a 30 de agosto de 2025

Maceió, AL

## MODELAGEM HIPSOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DA ALTURA DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby EM ULIANÓPOLIS-PA

LIMA, Vanêssa Nascimento<sup>1</sup>; SILVA, Natália Matos<sup>2</sup>; SILVA, Virna Santos<sup>3</sup>; SILVA, Sayrah Sousa<sup>4</sup>; RODRIGUES, Weslaine Galvão<sup>5</sup>; SANTOS, Diana Neres<sup>6</sup>; GOMES, Jaqueline Macedo<sup>7</sup>; SIVIERO, Marco Antonio<sup>8</sup>; VIEIRA, Sabrina Benmuyal<sup>9</sup>; SOUSA, Ana Paula Brito<sup>10</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, vanessanascimento@gmail.com; <sup>2</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, nataliamatos17@gmail.com; <sup>3</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, virnasilva.vss@gmail.com; <sup>4</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, sayrah.sil@gmail.com; <sup>5</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, weslainerodrigues.20190003690@uemasul.edu.br; <sup>6</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, dnsdiana1107@gmail.com; <sup>7</sup>Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, jaquelinegomes@uemasul.edu.br; <sup>8</sup>Grupo Aboris, marco.siviero@grupoarboris.com.br; <sup>9</sup>Grupo Aboris, sabrina.benmuyal@grupoarboris.com.br; <sup>10</sup>Grupo Aboris, anapaula.arboris@gmail.com

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo ajustar e validar equações hipsométricas para estimativa da altura total de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá), em um plantio comercial localizado no município de Ulianópolis, estado do Pará. Foram medidas 765 árvores, das quais 613 foram utilizadas para o ajuste de sete modelos matemáticos e 153 para validação. As variáveis mensuradas foram o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total. A seleção do melhor modelo baseou-se em critérios estatísticos como o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ajustado ( $Sy_{xaj}$ ), desvio médio percentual (DMP), valor ponderado e análise gráfica dos resíduos. A validação foi realizada por meio do teste qui-quadrado ao nível de 5% de significância. Entre os modelos testados, o Hiperbólico<sup>2</sup> apresentou melhor desempenho, com  $R^2_{aj}$  de 0,74 e  $Sy_{xaj}$  de 22,66%, sendo considerado o mais adequado para estimativas de altura na área avaliada. Os resultados indicam que modelos hipsométricos aprimoram os inventários florestais em plantios de paricá.

*Palavras-chave:* inventário florestal; dendrometria; paricá; florestas plantadas.

### INTRODUÇÃO

O *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecido como paricá, é uma espécie arbórea nativa da Amazônia que se destaca pelo rápido crescimento e pela qualidade de sua madeira, sendo amplamente utilizada em programas de reflorestamento e na indústria madeireira (SILVA *et al.*, 2020). A crescente demanda por produtos florestais sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas à otimização do manejo e à estimativa precisa de variáveis dendrométricas dessa espécie (SOUZA *et al.*, 2021).

A altura das árvores é uma variável fundamental em inventários florestais, pois influencia diretamente na estimativa do volume de madeira e na avaliação da produtividade dos povoamentos. No entanto, a medição direta da altura pode ser laboriosa e suscetível a erros, especialmente em florestas densas ou de difícil acesso (FREITAS *et al.*, 2022). Nesse contexto, modelos hipsométricos que relacionam a altura ao diâmetro à altura do peito (DAP) têm sido desenvolvidos para estimar a altura de forma indireta e eficiente (LIMA *et al.*, 2019).

Modelos hipsométricos são ferramentas que possibilitam estimar a altura total das árvores a partir do DAP, contribuindo para a redução do tempo de coleta de dados em campo e aumentando a eficiência do inventário florestal. A seleção do modelo mais adequado baseia-se em critérios estatísticos como o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), que expressa o grau de explicação da variabilidade da altura pelas variáveis independentes do modelo, e o erro padrão da estimativa ( $Sy_x$ ), que avalia a precisão das estimativas geradas (GONÇALVES *et al.*, 2023). Este trabalho tem como objetivo ajustar e validar equações hipsométricas para indivíduos de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em plantio comercial localizado no município de Ulianópolis, no estado do Pará.



# VIII CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL

27 a 30 de agosto de 2025

Maceió, AL

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi conduzido em dezembro de 2022 na Fazenda Jaspe II (4°0'58"S, 47°52'32"W), pertencente ao Grupo Arboris, localizada no município de Ulianópolis, sudeste do estado do Pará. O clima local é classificado como Aw (tropical com estação seca), com precipitação média anual entre 2.250 e 2.500 mm e umidade relativa média de 85% (SOUSA, 2014; LOPES; DE SOUSA; FERRERA, 2013).

### Coleta de dados

Foram alocadas aleatoriamente 33 parcelas de 400 m<sup>2</sup> (20 m x 20 m), nas quais todas as árvores foram medidas quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP). A altura foi medida em três árvores localizadas na linha inicial do plantio e nas árvores dominantes da parcela. A altura dominante foi definida conforme o critério de Assmann, considerando a média das quatro maiores árvores por parcela (FINGER, 2006). A altura (em metros) foi medida com o aplicativo Clinômetro Florestal, e o DAP com suta.

### Ajuste e validação de modelos

Foram medidas 765 árvores, sendo 613 utilizadas para o ajuste em sete diferentes modelos hipsométricos (Tabela 1). Os modelos relacionam altura total e DAP, e seus parâmetros foram estimados por regressão. Para validação, foram selecionadas aleatoriamente 153 árvores (20% da amostra), representando diferentes classes diamétricas.

Tabela 1. Modelos de equações hipsométrica para ajuste em árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby.

| Nº | Modelos hipsométricos   | Autores                  |
|----|---|--------------------------|
| 1  | $\sqrt{1/H} = \beta_0 + \beta_1(1/DAP) + \varepsilon$                     | Petterson                |
| 2  | $H = \beta_0 + \beta_1(1/DAP) + \varepsilon$                              | Curtis (1967)            |
| 3  | $DAP/\sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \varepsilon$                     | Hiperbólico <sup>1</sup> |
| 4  | $DAP^2/(H - 1,3) = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + \varepsilon$ | Prodan                   |
| 5  | $DAP^2/H = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + \varepsilon$         | Prodan (1965)            |
| 6  | $DAP/\sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1*(DAP) + \beta_2*(DAP^2) + \varepsilon$  | Hiperbólico <sup>2</sup> |
| 7  | $DAP^2/H = \beta_0 + \beta_1*DAP + \varepsilon$                           | Baptista et al., (2001)  |

Legenda:  $\beta_n$ , coeficientes a serem estimados; H, altura total (m); DAP, diâmetro a altura do peito (medido a 1,30m do solo)(cm).

Fonte: Autores (2023).

A escolha do melhor modelo considerou os seguintes critérios estatísticos: valor de F significativo, maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), menor erro padrão da estimativa ajustado ( $Sy_{xaj}$ ), menor desvio médio percentual (DMP), valor ponderado (VP) e análise gráfica dos resíduos. A validação foi feita por meio do teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) ao nível de 5% de significância, testando as seguintes hipóteses: H0: Não existe diferença significativa entre a altura real e a altura estimada pelo modelo escolhido; e H1: Existe diferença significativa entre a altura real e a altura estimada pelo modelo escolhido.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes estimados e a estatística de precisão dos modelos podem ser observados na Tabela 2.



# VIII CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL

27 a 30 de agosto de 2025

Maceió, AL

Tabela 2. Coeficientes estimados e estatística de precisão.

| Modelos                  | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ | F       | $R^2_{aj}$ | Syxaj | DMP     | VP |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|-------|---------|----|
| Prodan                   | 10,16003  | -1,02581  | 0,106717  | 529,73  | 0,63       | 22,96 | -0,51   | 18 |
| Curtis                   | 2,982297  | -5,77375  | -         | 145,65  | 0,19       | 22,69 | 2,24    | 23 |
| Prodan (1965)            | 7,556111  | -0,74276  | 0,090923  | 729,07  | 0,70       | 22,86 | -0,0012 | 12 |
| Hiperbólico <sup>1</sup> | 0,676167  | 0,230048  | -         | 1688,35 | 0,73       | 22,85 | 1,28    | 12 |
| Petterson                | 0,216247  | 0,872656  | -         | 170,64  | 0,22       | 22,88 | 1,14    | 22 |
| Hiperbólico <sup>2</sup> | 1,60783   | 0,096558  | 0,00456 2 | 865,10  | 0,74       | 22,66 | 1,09    | 9  |
| Baptista et al., (2001)  | -11,0106  | 1,917522  | -         | 1288,28 | 0,68       | 30,71 | 0,84    | 16 |

Legenda:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , Coeficientes de regressão; F, valor de F calculado;  $R^2_{aj}$ , coeficiente de determinação ajustado; Syxaj, erro padrão ajustado; e DMP, desvio médio percentual; VP, Valor Ponderado.

Fonte: Autores (2023).

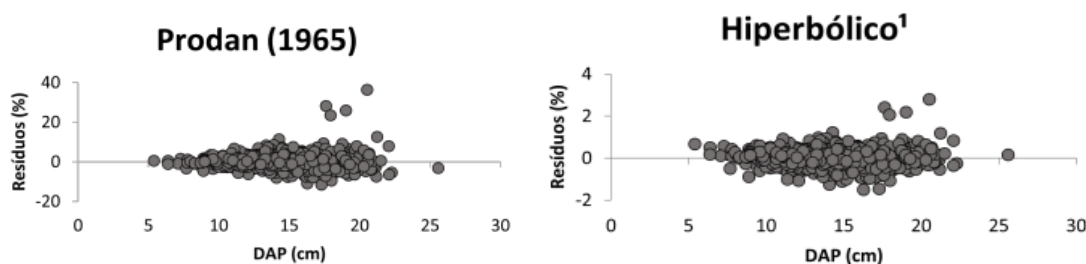
Os valores de F variaram de 145,65 a 1688,35 e foram significativos para todas as equações hipsométricas, indicando que ao menos um coeficiente de regressão é estatisticamente diferente de zero. Isso evidencia a existência de relação entre as variáveis independentes (DAP) e a dependente (altura total).

Segundo Gonçalves (2021), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) indica a proporção da variabilidade da variável dependente explicada pelo modelo. Já o erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) quantifica o desvio do modelo ao estimar a variável dependente. Dessa forma, modelos com menores valores de erro padrão ajustado (Syxaj) indicam ajustes mais precisos (OLIVEIRA *et al.* 2020).

O modelo Hiperbólico<sup>2</sup> apresentou o melhor desempenho estatístico, com o maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj} = 0,74$ ) e o menor erro padrão da estimativa ajustado (Syxaj = 22,66%). Esses valores indicam uma boa capacidade explicativa do modelo e maior precisão nas estimativas de altura. O segundo melhor desempenho foi observado no modelo de Prodan (1965), com  $R^2_{aj}$  de 0,70 e Syxaj de 22,86%. Já o modelo de Baptista et al. apresentou  $R^2_{aj}$  de 0,68, mas um erro padrão maior (Syxaj = 30,71%), o que compromete sua precisão.

Em termos de tendência de estimativa, o modelo de Prodan (1965) apresentou o menor desvio médio percentual (DMP), com superestimação de apenas 0,0012%. O modelo Hiperbólico<sup>2</sup> também obteve DMP aceitável (1,09%) e o menor valor ponderado (VP = 9), reforçando seu destaque entre os modelos avaliados. A análise gráfica dos resíduos indicou dispersão homogênea para os três modelos com melhor desempenho (Figura 1). No entanto, apenas o modelo Hiperbólico<sup>2</sup> combinou boa precisão, alta explicação estatística e equilíbrio na distribuição dos resíduos.

Figura 1. Análise gráfica dos resíduos das três equações com os menores valores ponderados.

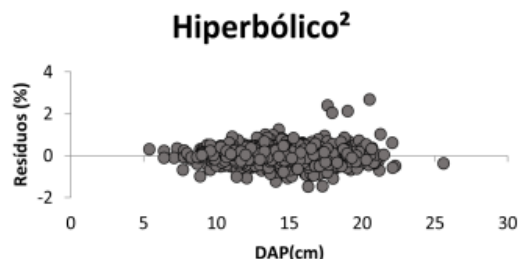




# VIII CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL

27 a 30 de agosto de 2025

Maceió, AL



Fonte: Autores (2023).

A validação estatística por meio do teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ), ao nível de 5% de significância, mostrou que não houve diferença significativa entre as alturas observadas e estimadas para seis dos sete modelos avaliados. Apenas o modelo de Baptista et al. (2001) apresentou inconsistência estatística, foi considerado estatisticamente inadequado para estimativas de altura na área estudada. O modelo Hiperbólico<sup>2</sup> apresentou precisão adequada e consistência nos testes de validação, demonstrando ser uma ferramenta eficaz para otimizar inventários florestais. A aplicação desse modelo pode contribuir para a redução de custos e o aumento da eficiência em levantamentos dendrométricos, especialmente em áreas com características similares.

## CONCLUSÕES

O modelo Hiperbólico<sup>2</sup> ( $(DAP/\sqrt{H} = 1,60783 + 0,09655 \cdot 8^*(DAP) + 0,00456 \cdot 2^*(DAP^2))$ ) se destaca como a melhor opção para estimar a altura das árvores de Paricá, com base nos resultados deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- FINGER, C. A. G. **Biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- FREITAS, M. T. S.; SILVA, A. C. C.; OLIVEIRA, R. R.; LIMA, R. S.; SANTOS, J. P. Avaliação de métodos de estimativa de altura em florestas tropicais. **Revista de Ciências Florestais**, v. 32, n. 1, p. 89–98, 2022.
- GONÇALVES, E. **Aplicação do modelo de regressão linear múltipla para estimação da produção habitacional (MCMV/CVA e MAP) no Brasil**. 2021. 15 p. Tese (Pós-Graduação Lato Sensu) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2021.
- GONÇALVES, R. M.; PEREIRA, L. A.; COSTA, J. F.; ALMEIDA, S. R. Comparação de modelos hipsométricos em povoamentos florestais plantados. **Cerne**, v. 29, n. 2, p. 201–210, 2023.
- LIMA, R. S.; OLIVEIRA, D. S.; SOUSA, A. L.; SILVA, A. A. Aplicação de modelos não lineares para estimativa de altura em florestas plantadas de paricá. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 1–10, 2019.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B. de; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 9, p. 206–226, 2013.
- OLIVEIRA, D. S.; SOUSA, A. L.; SILVA, A. A. Modelagem de relações hipsométricas em plantios florestais. **Revista Árvore**, v. 44, n. 1, 2020.
- SILVA, D. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, E. J.; ALMEIDA, R. T. Potencial produtivo de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1–11, 2020.
- SOUZA, L. A.; MENDES, F. R.; BARROS, C. A.; LIMA, J. S. Manejo de povoamentos de paricá visando à produção sustentável. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 2, p. 1–9, 2021.
- SOUZA, T. C. **Ulianópolis**. 2014. Disponível em: <https://ulianopolis-pa.blogspot.com/>. Acesso em: 28 abr. 2025.