



RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA ESTIMAÇÃO DE ALTURA DA *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.

Gerlanny Vieira Morais¹, Natielly Cristine Gomes de Medeiros², Eduarda Loise de Oliveira Figueiredo¹, Flávio Cipriano de Assis do Carmo¹, Pedro Nicó de Medeiros Neto¹, Larissa de Medeiros Araújo¹, Stephenson Ramalho de Lacerda³, Francisco das Chagas Vieira Sales¹

1 Universidade Federal da Paraíba, Patos, PB, Brasil. E-mail: gerlannyprocessos@gmail.com; eduardaloise8@gmail.com; flaviocipriano@hotmail.com; pedroflorestal@gmail.com; larissamedeiros2410@gmail.com; franciscoef@yahoo.com.br

2 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil. E-mail: natiellymedeiros7@gmail.com

3 Prefeitura Municipal do Crato, Crato, CE, Brasil. E-mail: tessonpb@yahoo.com.br

Autora correspondente: Gerlanny Vieira Morais. E-mail: gerlannyprocessos@gmail.com.

RESUMO

O inventário florestal é apontado como uma ferramenta fundamental para compreender as mudanças que ocorrem nas florestas causadas por fatores naturais e humanos, neste contexto, as variáveis dendrométricas mensuradas são principalmente o diâmetro e a altura dos indivíduos amostrados. Como alternativa para estimativas das alturas, pode ser utilizado equações hipsométricas, assim, o objetivo do presente trabalho foi comparar modelos hipsométricos, que melhor se ajustassem a estimar as alturas da *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. A eficiência dos modelos foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa relativo e erro percentual absoluto médio. Dentre os modelos testados, o maior valor de $R^2 = 0,4794$ foi obtido pelo modelo 3, já o modelo 5 apresentou o menor ajuste para estimar a altura da espécie estudada. O modelo hipsométrico que apresentou o melhor ajuste na estimativa de altura das árvores da *M. tenuiflora* foi o quadrático. Além disto, as equações geradas podem ser aplicadas com parcimônia em locais com características semelhantes e ajudam a reduzir o custo e o tempo dos inventários florestais para fins científicos e planejamento do manejo florestal neste domínio fitogeográfico.

Palavras-chaves: Altura; Caatinga; inventário florestal

***HYPSONOMETRIC RELATIONSHIPS FOR HEIGHT ESTIMATION OF Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.**

ABSTRACT

The forest inventory is considered a fundamental tool to understand the changes that occur in forests caused by natural and human factors. In this context, the dendrometric variables measured are mainly the diameter and height of the sampled individuals. As an alternative for estimating heights, hypsometric equations can be used. Thus, the objective of the present work was to compare hypsometric models, which better fit to estimate the heights of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. The efficiency of the models was evaluated using the coefficient of determination (R^2), standard error of the relative estimate and mean absolute percent error. Among the models tested, the highest value of $R^2 = 0.4794$ was obtained by model 3, while model 5 presented the lowest adjustment to estimate the height of the studied specie. The hypsometric model that presented the best fit in estimating the height of *M. tenuiflora* trees was the quadratic model. In addition, the generated equations can be sparingly applied in places with similar characteristics and help to reduce the cost and time of forest inventories for scientific purposes and forest management planning in this biome.

Key words: Height; Caatinga; forest inventory



INTRODUÇÃO

A Caatinga é um domínio fitogeográfico endêmico do Brasil caracterizado por forte vegetação estacional, divididas em estratos arbustivo, arbóreo e herbáceo exibindo diferentes formas de relevo e nos últimos anos. Esse domínio fitogeográfico se tornou sensível devido ao uso insustentável de seus recursos naturais por diversas atividades humanas, o que vem acelerando seu processo de degradação (Sales *et al.*, 2023).

O monitoramento das florestas garante o uso sustentável deste recurso natural, com isto, o inventário florestal é apontado como uma ferramenta fundamental para compreender as mudanças que ocorrem nas florestas causadas por fatores naturais e humanos, e assegura a compreensão e entendimento da caracterização geral da vegetação, sob todos os seus aspectos dendrométricos permitindo o planejamento adequado do uso da floresta sem causar danos irreversíveis aos ecossistemas florestais (Brand, 2017).

Na Caatinga, a altura das árvores pode ser bastante desafiadora devido às características únicas dessa região, muitas espécies das árvores possuem uma forma de crescimento tortuosa, com galhos e troncos que se entrelaçam, tornando difícil determinar qual é o tronco principal e qual é a altura correta a ser medida. Como alternativa, pode ser utilizado equações hipsométricas para estimar a altura com base no tronco ou outras características da árvore. No entanto, é importante estar ciente de que os padrões hipsométricos variam entre diferentes tipos de floresta, bem como dentro do mesmo tipo de floresta em diferentes tipologias florestais (Batista *et al.*, 2014).

Dentre as espécies nativas da Caatinga, encontra-se a *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., popularmente conhecida como jurema preta, pertencente à família Fabaceae (Nogueira *et al.*, 2021). De acordo com Bakke *et al.* (2006), esta espécie é abundante na região semiárida e possui grande afinidade tanto econômica quanto ecológica. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo comparar o modelo hipsométrico de melhor ajuste para a espécie *Mimosa tenuiflora*.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida na Fazenda NUPEÁRIDO (Núcleo de Pesquisas do Semiárido), pertencente à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado a seis quilômetros a sudoeste do município de Patos – PB, nas coordenadas geográficas 07°05'10" Sul e 37°15'43" Oeste.

Para análise dos dados foram amostradas 15 parcelas de área fixa (400 m²), foram mensurados todos os indivíduos com circunferência a 1,30m do solo com o mínimo de 6cm ($C \geq 6\text{cm}$), foram mensurados 785 indivíduos e registradas os nomes comuns, as circunferências a 1,3m do solo e as alturas totais, dos quais 278 foram *Mimosa tenuiflora*, sendo a espécie de maior valor de importância. Assim esses dados foram utilizados para ajuste de modelos hipsométricos, sendo 185 indivíduos aleatórios utilizados para os ajustes dos modelos lineares e, 93 indivíduos

utilizados na validação dos modelos. A estatística descritiva dos indivíduos utilizados para o ajuste e validação das equações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos dados

Estatística	Todos os dados		Ajuste		Validação	
	D	Altura total	D	Altura total	D	Altura total
Média	7,07	3,49	7,19	3,49	6,83	3,49
Mínimo	1,91	1,50	1,91	1,50	1,91	1,80
Máximo	24,50	6,00	24,50	6,00	17,83	6,00
Desvio Padrão	4,10	0,90	4,35	0,92	3,57	0,88
CV%	54,05	25,89	60,50	26,27	52,32	25,25

D = diâmetro equivalente a 1,30 m do solo

Os modelos utilizados para ajuste e validação a predição de alturas para a *M. tenuiflora* estão expressos na Tabela 2. Todos os modelos foram ajustados no software R (R Core Team, 2022).

Tabela 2. Modelos hipsométricos testados

Ordem	Modelos	Denominação
1	$H_i = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon_i$	Reta
2	$H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \varepsilon_i$	Logarítmico
3	$H_i = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon_i$	Quadrático
4	$H_i = \beta_0 * D^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência
5	$H_i = \beta_0 * e^{\beta_1 D} + \varepsilon_i$	Exponencial

H_i = Alturas individuais (m); D = Diâmetro equivalente a 1,30 m do solo

Para comparar e descrever o modelo de melhor ajuste aos dados, utilizou-se as estatísticas (Tabela 3): coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, erro quadrático médio (EM) e erro médio absoluto em porcentagem (EPAM).

Tabela 3. Critérios de seleção do melhor modelo hipsométrico

Critério	Equação
Coeficiente de determinação ajustado	$R_{ajust.}^2 = R^2 - \left[\frac{k-1}{n-k} \right] \cdot (1 - R^2)$
Erro padrão residual	$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k}}$
Erro quadrático médio – EM	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$
Erro percentual absoluto médio – EPAM	$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{e_i}{y_i} \right $

R^2 = coeficiente de determinação; k = número de parâmetros do modelo; n = número de observações; e = erro de previsão; y_i = alturas observadas (m); \hat{y}_i = alturas estimas pela equação; p = número de coeficientes

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar os ajustes nos modelos, foi observado que os valores estatísticos de $R_{ajust.}^2$ eram relativamente baixos. Dentre os modelos avaliados, o modelo 3 (quadrático) apresentou melhor precisão para estimar as espécies presentes no estudo, com um valor de $R_{ajust.}^2$ de 0,4794 e, o modelo 5 (exponencial) com menor ajuste, tendo o $R_{ajust.}^2 = 0,4254$, portanto, uma diferença de 0,054 entre o melhor e pior ajuste aos dados. As estimativas realizadas e as estatísticas de comparação entre os modelos testados, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Estatísticas de ajuste e validação dos modelos

Ordem	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust.}$	S_{yx}	EM	EPAM	Ranking
1	2,60734	0,12302		0,4562	0,6496	0,4219	16,44	3
2	1,7394	0,9691		0,4434	0,6571	0,4318	15,94	4
3	2,23579	0,22372	-0,004999	0,4794	0,639	0,4083	15,80	1
4	2,10486	0,27319		0,4606	0,6469	0,4185	15,84	2
5	2,78269	0,030376		0,4254	0,6677	0,4458	17,04	5

Em que: b_0 , b_1 e b_2 = estimativas dos parâmetros do modelo; $R^2_{ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão residual; EM = erro quadrático médio; EPAM = Erro percentual absoluto médio

Os modelos testados apresentaram baixos valores do coeficiente de determinação; indicando pouca correlação entre as variáveis diâmetro e altura (Bartoszeck *et al.*, 2002; Machado *et al.*, 2008; Araújo *et al.*, 2012). O menor R^2 para a *Mimosa tenuiflora*, pode ser explicado pela maior heterogeneidade dos dados, quando comparados com espécies exóticas de uso mais frequente das relações hipsométricas.

A análise dos gráficos de resíduos foi utilizada como complementar na decisão do melhor ajuste (Figura 1).

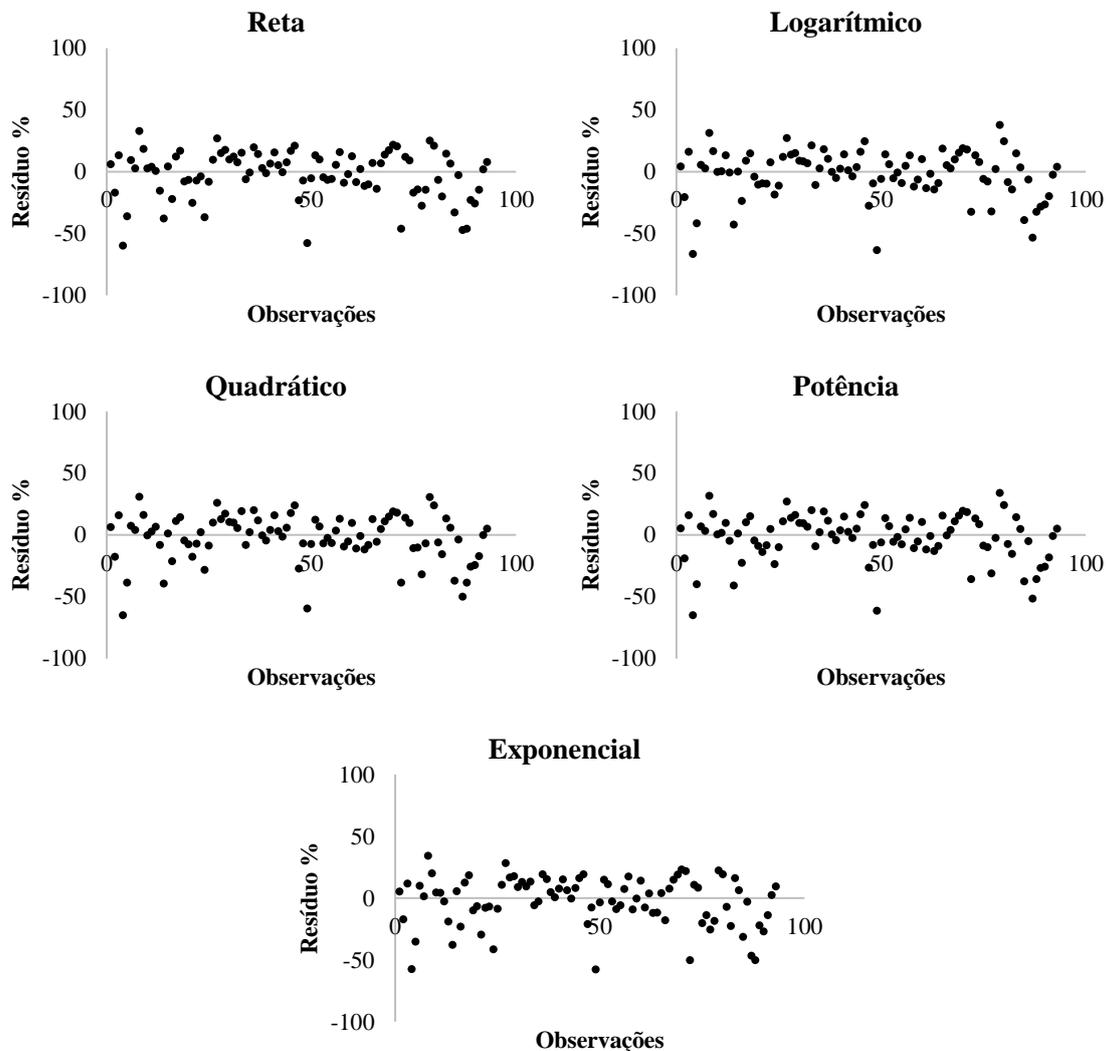


Figura 1. Distribuição dos resíduos para as equações testadas

Percebe-se pelos gráficos (Figura 1), que todos os modelos apresentaram comportamento similar de dispersão residual. Considera-se que o uso destas relações para estimar alturas da *M. tenuiflora* é viável, mas com uso parcimonioso, reduzindo o tempo de medição desta espécie em desenvolvimento nativo e, pode ser estimada a altura dessas árvores em outras locais que apresentem características edafoclimáticas semelhantes.

CONCLUSÃO

O modelo hipsométrico que apresentou o melhor ajuste na estimativa de altura das árvores da *Mimosa tenuiflora* foi o quadrático. Além disso, as equações geradas podem ser aplicadas com parcimônia em locais com características semelhantes e ajudam a reduzir o custo e o tempo dos inventários florestais para fins científicos e planejamento do manejo florestal neste domínio fitogeográfico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, E. J. G.; Pelissari, A. L.; David, H. C.; Scolforo, J. R. S.; Péllico Netto, S.; Morais, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p.257-268, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.257>.
- Bakke, A. I.; Bakke, O. A.; Andrade, A. P.; Salcedo, H. I. Regeneração natural da Jurema Preta em áreas sob pastejo de bovinos. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 3, p.228-235, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/77>. Acesso em: 23 Abr. 2023.
- Bartoszeck, A. C. P. S.; Machado, S. A.; Figueiredo Filho, A.; Oliveira, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, v. 32, n. 2, p.189-204, 2002. <https://doi.org/10.5380/ufpr.v32i2.2285>.
- 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.
- Brand, M. A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p.117-127, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509826452>.
- Machado, S. A.; Nascimento, R. G. M.; Augustynczyk, A. L. D.; Silva, L. C. R.; Figura, M. A.; Pereira, E. M.; Téó, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/58>. Acesso em: 19 Abr. 2023.
- Nogueira, S. S.; Castro, V. G.; Araújo, P. C. D. Influência dos extrativos na cor e durabilidade natural da madeira de Jurema-preta. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 4, p.1613-1619, 2021. <https://doi.org/10.34062/afs.v8i4.12728>.
- R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 Abr. 2023.
- Sales, F. C. V.; Figueiredo, E. L. O.; Medeiros, N. C. G.; Sousa, S. M. S.; Morais, G. V.; Araújo, L. M. Caracterização arbórea na caatinga pelo método de parcela fixa e ponto quadrante. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 109, n. 1, p. 172–187, 2023. <https://doi.org/10.54446/bpg.v109i1.2975>.