



## EFICIÊNCIA DO SENSOR LiDAR EM IPHONE NA ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE *Cenostigma bracteosum* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Larissa Maria Lopes Santana<sup>1\*</sup>, Alex Nascimento de Sousa<sup>1</sup>, Ricardo Cordeiro de Lima<sup>1</sup>, Tatiana Vitória Firmina de Almeida<sup>1</sup>, Aída Xavier de Lima<sup>1</sup>, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira<sup>1</sup>

Universidade Federal Rural de Pernambuco<sup>1</sup>

\* larissa.marias@ufrpe.br

### RESUMO

A coleta de dados dendrométricos em florestas tropicais secas, como a Caatinga, ainda enfrenta desafios operacionais, especialmente em áreas com vegetação de múltiplos fustes e de difícil acesso. O uso de tecnologias em dispositivos móveis, como o sensor LiDAR presente no iPhone 13 Pro, surge como uma alternativa promissora para inventário florestal mais ágeis e de menor custo. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do sensor LiDAR na coleta de dados dendrométricos em comparação com o método convencional, utilizando o software *Arboreal Forest*. O trabalho foi realizado em uma área em regeneração natural no município de Floresta-PE, onde parcelas permanentes foram utilizadas para mensurar o diâmetro à altura de 1,30 m do solo (D) e a altura (H) da espécie *Cenostigma bracteosum*. Os resultados indicaram alta concordância entre os métodos para o D<sub>convencional</sub> ( $R^2 = 0,97$ ) e D<sub>LiDAR</sub> ( $R^2 = 0,94$ ) e correlação satisfatória para H<sub>convencional</sub> ( $R^2 = 0,91$ ) e H<sub>LiDAR</sub> ( $R^2 = 0,82$ ), com menor tempo de coleta e viés reduzido na utilização do LiDAR. Constatou-se que o sensor LiDAR é uma ferramenta viável e eficiente para medições na Caatinga, contribuindo para o avanço do monitoramento ecológico com menor demanda de recursos.

*Palavras-chave:* Arboreal Forest; Caatinga; Inventário Florestal

### INTRODUÇÃO

A Caatinga, uma das principais vegetações do semiárido brasileiro, possui grande relevância ecológica e socioeconômica. Contudo, o manejo sustentável de seus recursos é dificultado pela escassez de dados estruturais sobre as espécies nativas. O monitoramento por parcelas permanentes é essencial para entender a dinâmica da vegetação e apoiar estratégias de conservação e uso sustentável. A espécie *Cenostigma bracteosum* (catingueira) destaca-se por sua ampla distribuição, alta frequência e múltiplos usos – forrageiro, energético e na recuperação ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Com frequência multicaule, sua caracterização em áreas de regeneração contribui para avaliar a resiliência da vegetação nativa frente a variações ambientais e históricas de uso do solo (FERRAZ *et al.*, 2014).

Métodos convencionais de inventário florestal, embora precisos, demandam tempo e mão de obra especializada. Nesse contexto, tecnologias como o sensor LiDAR presente no iPhone 13 Pro, integradas ao software *Arboreal Forest*, surgem como alternativas acessíveis e eficientes na obtenção de variáveis dendrométricas.

Apesar dos avanços, a validação do LiDAR em florestas secas como a Caatinga ainda é limitada. Assim, este estudo comparou medições de diâmetro e altura obtida através do método convencional e LiDAR, em indivíduos de *C. bracteosum* em área de regeneração no município de Floresta-PE. A análise estatística dos dados buscou verificar a acurácia e a aplicabilidade do LiDAR no monitoramento florestal em ecossistemas semiáridos.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Floresta, estado de Pernambuco, na fazenda Itapemirim (08°30'49" S; 37°57'44" W). O clima da região é classificado como BSh (semiárido quente), com temperatura média anual de 26,5 °C e precipitação média de 623 mm (ALVARES *et al.*, 2013). A vegetação predominante é composta por espécies lenhosas características da Caatinga, em processo de regeneração natural. A espécie-alvo

do estudo foi *Cenostigma bracteosum* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis, conhecida popularmente como Catingueira, selecionada por sua alta frequência e dominância local.

### Coleta de dados

Foram utilizados dados de 24 parcelas permanentes de 20 m × 20 m (400 m<sup>2</sup>), nas quais foram medidos todos os indivíduos da espécie com circunferência à 1,30 m do solo (C) ≥ 10 cm. A coleta convencional dos dados foi realizada com fita métrica e hipsômetro. Para a coleta com sensor remoto, utilizou-se um iPhone 13 Pro equipado com tecnologia LiDAR, em conjunto com o software *Arboreal Forest*. Foram obtidos os valores de diâmetro e altura a partir das medições digitais, diretamente no campo.

### Análise dos dados

Inicialmente, foram calculadas as estatísticas descritivas das variáveis (D) e altura (H) obtidas por ambos os métodos, incluindo média, mediana, desvio padrão, MAE e MAPE. Os dados foram processados no software R (R Core Team, 2024). Posteriormente, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade das diferenças entre os dois métodos. Com a normalidade atendida, utilizou-se o teste t Student pareado para comparação das médias. Adicionalmente, foram conduzidas análises de correlação de Pearson, buscando verificar a associação linear entre os valores obtidos pelos dois métodos. Também foi ajustado um modelo de regressão linear simples, com o método convencional como variável dependente e o LiDAR como preditora, para avaliar a capacidade explicativa dos dados gerados pelo sensor. Para avaliar a precisão do LiDAR, foram calculadas métricas de acurácia, incluindo o RMSE e Bias.

Além da acurácia, analisou-se o tempo de coleta, cronometrando-se a mensuração de cerca de 90 fustes por parcela com ambos os métodos, evidenciando a eficiência operacional do LiDAR acoplado ao iPhone 13 Pro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 1 que os valores médios e medianos do D<sub>eq</sub> e da H<sub>eq</sub> obtidos pelo método LiDAR foram ligeiramente inferiores aos do método convencional. O desvio padrão e o coeficiente de variação foram similares entre os métodos, indicando uma variabilidade relativamente homogênea nos dados coletados. Essa proximidade nas medidas sugere que o sensor LiDAR pode ser uma alternativa viável para mensuração de variáveis dendrométricas, ainda que com tendência à subestimação discreta, especialmente na variável altura.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas mensuradas pelos métodos convencional e LiDAR para indivíduos de *Cenostigma bracteosum* em área de Caatinga no semiárido de Pernambuco.

Variável	Métodos	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coef. De Variação (%)
Diâmetro equivalente (D <sub>eq</sub> ) (cm)	Convencional	15,48	15,11	3,09	19,94
	LiDAR	15,30	14,98	2,97	19,42
Altura equivalente (H <sub>eq</sub> ) (m)	Convencional	4,20	4,12	0,81	19,21
	LiDAR	3,97	3,89	0,75	18,95

Para verificar a adequação dos testes estatísticos a serem aplicados, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk sobre as diferenças entre os valores obtidos pelos métodos Convencional e LiDAR. A Tabela 2 resume os resultados dos testes estatísticos e das métricas de acurácia aplicadas para comparar os dois métodos de coleta.

Tabela 2. Indicadores estatísticos de comparação entre métodos convencional e LiDAR para mensuração do diâmetro a 1,30 m do solo e da altura total.

Variável	Indicadores						
	RMSE	MAPE (%)	Bias	Correlação de Pearson (p < 0,001)	Shapiro-Wilk (p-valor)	Teste t pareado	R <sup>2</sup>
Diâmetro (D) (cm)	1,53	4,87	-0,18	0,97	0,118	0,079	0,94
Altura (H) (m)	0,71	17,44	-0,23	0,91	0,089	0,003	0,82

Legenda: RMSE=Erro Quadrado Médio; MAPE=Erro Percentual Absoluto Médio; Bias=Erro Médio (Viés); R<sup>2</sup>=Coeficiente de Determinação.

Os indicadores de desempenho revelaram que o sensor LiDAR apresentou forte correlação com o método convencional para ambas as variáveis analisadas. A correlação de Pearson foi, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,94 e 0,82, respectivamente. O RMSE foi de 1,53 cm para o diâmetro e 0,71 m para a altura. O viés negativo indica leve tendência de subestimação pelo sensor. O MAPE mostrou alta precisão para o diâmetro, mas valores mais elevados para altura, apontando limitações do sensor nessa variável.

O teste de normalidade validou o uso de testes paramétricos, e o teste t pareado indicou diferença significativa apenas para a altura, sendo não significativa para o diâmetro. Esses resultados corroboram achados de Amaro *et al.* (2023) e Rodríguez *et al.* (2023), que indicam o LiDAR como promissor para a mensuração do diâmetro em florestas, mas com restrições para altura devido a fatores como arquitetura arbórea e densidade da vegetação (MAGNUSON *et al.*, 2024; GUPTA *et al.*, 2021).

A análise gráfica via boxplot (Figura 1A) evidencia uma leve tendência de subestimação dos valores pelo método LiDAR, o que reforça os resultados do teste t pareado que apontaram diferença estatística significativa entre as médias. Enquanto no boxplot do D (Figura 1B), revela que a mediana do D entre os métodos é bastante próxima, com ligeira dispersão maior no método convencional, o que é coerente com os valores do teste t pareado que não indicaram diferença significativa.

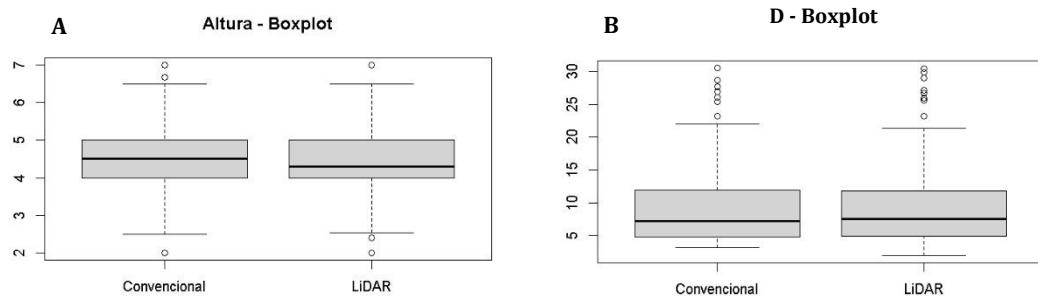


Figura 1 – Boxplot comparativo dos valores de altura equivalente (Heq) entre os métodos Convencional e LiDAR (A) e dos valores de diâmetro equivalente (Deq) entre os métodos Convencional e LiDAR (B).

No gráfico da dispersão, observa-se uma forte relação linear entre os valores de altura estimados pelo método convencional e pelo sensor LiDAR (Figura 2A), com alta correlação, embora alguns pontos estejam mais afastados da linha de tendência. Enquanto o gráfico do D (Figura 2B) mostra uma correlação linear fortemente positiva entre os métodos, evidenciada pelo  $R^2$  de 0,94, indicando que o método LiDAR apresentou elevada precisão na estimativa do diâmetro.

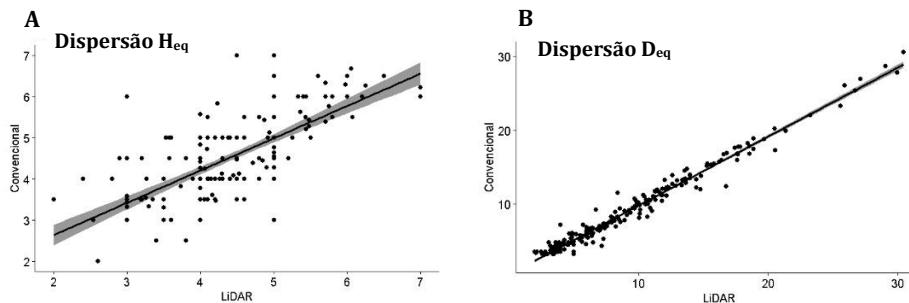


Figura 2 – Gráfico de dispersão entre os valores de altura equivalente (Heq) mensurados pelos métodos Convencional e LiDAR (A) e dos valores de diâmetro equivalente (Deq) mensurados pelos métodos

A comparação entre os métodos revelou diferenças relevantes na precisão das estimativas do sensor LiDAR do iPhone 13 Pro, com uso do software *Arboreal Forest*, em relação ao método convencional. Na Caatinga, a altura das árvores nem sempre é mensurada com instrumentos precisos; frequentemente utiliza-se uma estimativa visual baseada em objetos-padrão, o que pode introduzir erros sistemáticos, especialmente em indivíduos com múltiplos fustes. Assim, parte das discrepâncias observadas pode ser atribuída às limitações do método tradicional, e não exclusivamente ao desempenho do LiDAR (HOWIE & STEFANO, 2024).

Quanto ao tempo de coleta, o LiDAR demonstrou maior eficiência: uma única pessoa completou a medição de uma árvore em 1 minuto e 38 segundos a menos que o método convencional, que exigiu dois operadores. Além disso, o sensor fornece diretamente o valor do diâmetro, eliminando a etapa de conversão da circunferência e reduzindo potenciais erros de cálculo. Esses resultados apontam para uma economia significativa

de tempo e recursos humanos, especialmente em contextos logísticos restritivos. Estudo de Chen *et al.* (2022) também observou redução de até 40% no tempo de coleta com LiDAR em florestas urbanas, reforçando seu potencial de aplicação em ambientes naturais.

## CONCLUSÕES

O uso do sensor LiDAR no iPhone 13 Pro apresenta alta acurácia para o diâmetro (D) e desempenho mais limitado para a altura (H) das árvores, sendo uma alternativa viável ao método convencional, sobretudo em levantamentos rápidos, áreas de difícil acesso ou para fins de monitoramento. A variável altura, parte das divergências observadas pode ser atribuída ao próprio método convencional, que muitas vezes baseia-se em estimativas visuais utilizando objetos de referência. Apesar de não substituir completamente as metodologias tradicionais, o uso do Iphone 13Pro com a tecnologia LiDAR pode representar um avanço metodológico acessível, ágil e tecnicamente promissor, com potencial para apoiar o manejo, o monitoramento e a pesquisa florestal na Caatinga e em outras vegetações similares.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- CHEN, Y. *et al.* Using smartphone-based LiDAR to assess tree dimensions in urban parks. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 73, p. 127596, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127596>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- AMARO M. *et al.* Descrição e análise de aplicações móveis (Apps) para inventário florestal: PPS 1. Atividade 1.4. Versão 04. Out. 2022. Disponível em: [https://replant.pt/wp-content/uploads/2023/06/E1.4.1\\_Avaliacao-das-APPs-utilizadas.pdf](https://replant.pt/wp-content/uploads/2023/06/E1.4.1_Avaliacao-das-APPs-utilizadas.pdf). Acesso em: 8 mar. 2025.
- FERRAZ, J. S. F. *et al.* Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1055–1064, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600010>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- GUPTA, A.; SHARMA, M. Assessing tree height accuracy of smartphone LiDAR in dry deciduous forests. **Remote Sensing Letters**, v. 12, n. 7, p. 615–623, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1912484>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- HOWIE, N.; DE STEFANO, A. Measuring tree diameter using LiDAR equipped iPad: an evaluation of ForestScanner and Arboreal Forest applications. **Forest Science**, v. 70, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxae017>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- MAGNUSON, R. *et al.* Mobile devices in forest mensuration: a review of technologies and methods in single tree measurements. **Remote Sensing**, v. 16, p. 3570, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs16193570>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- OLIVEIRA, F. G. A.; RIBEIRO, C. L.; QUEIROZ, L. P. Flora da Bahia: Leguminosae – Cenostigma (Caesalpinoideae: Caesalpineae). **Sítientibus. Série Ciências Biológicas**, v. 23, p. 1–15, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13102/scb9824>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- RODRÍGUEZ, J. M. *et al.* Performance of smartphone LiDAR sensors in forest structure measurements. **Forest Ecology and Management**, v. 545, p. 121237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121237>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- SILVA, A. I. B. *et al.* Evaluation of the anti-Inflammatory potential of extracts methanolics from catingueira (*Cenostigma Bracteosum*) and canafistula (*Senna Trachypus*). **Peer Review**, v. 5, n. 25, p. 163-177, 2023.