

Nº 179656

**O uso do Pilodyn para determinação da densidade da espécie *Apuleia leiocarpa***

**Suelem Maurício Fontes Macena**  
**Fabiana Lopes de Oliveira**  
**Takashi Yojo**

*Palestra apresentada no  
ENCONTRO BRASILEIRO EM  
MAEIRAS E EM ESTRUTURAS DE  
MADEIRA, 18., 2025, São Paulo.  
22 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Encontro Brasileiro em Madeiras  
e em Estruturas de Madeira



# O uso do Pilodyn para a determinação da densidade da espécie *Apuleia leiocarpa*

Suelem Maurício Fontes Macena<sup>1,2</sup>

Fabiana Lopes de Oliveira<sup>2</sup>

Takashi Yojo<sup>1</sup>

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo<sup>1</sup>/ Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade de São Paulo<sup>2</sup>



# INTRODUÇÃO

**Contextualização:** a avaliação da integridade estrutural de edificações históricas que possuem estrutura de madeira requer a análise de diversos parâmetros como o **teor de umidade**, a **resistência mecânica** e a **densidade**.



Fonte: os autores (2025).



# Técnicas não destrutivas para estimar a densidade

## Resistógrafo



Fonte: Terrages (2025).

## Pilodyn

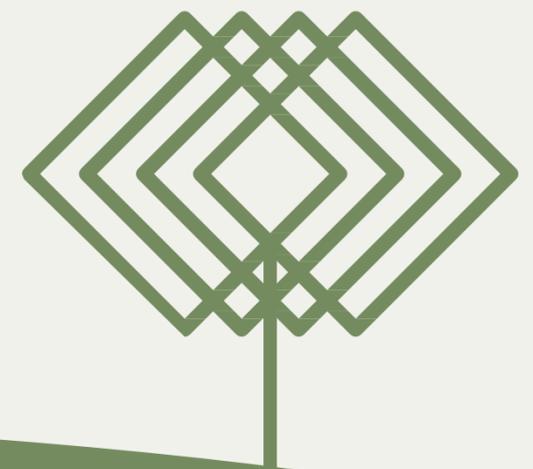


Fonte: os autores (2025).

# INTRODUÇÃO

**Problema de pesquisa:** medir a densidade de elementos estruturais de madeira de edificações históricas, como parte importante de um diagnóstico, de forma não destrutiva.

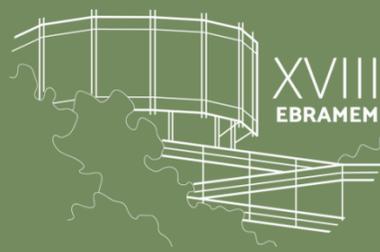
**Objetivo:** avaliar a viabilidade do uso do Pilodyn como técnica não destrutiva para determinar a densidade da madeira da espécie *Apuleia leiocarpa*.



# INTRODUÇÃO

**Importância:** o patrimônio edificado é um bem de inestimável valor e é imprescindível que se sejam utilizadas ferramentas adequadas, não destrutivas, no sentido da realização de sua manutenção.

*Apuleia leiocarpa* - comum aplicação em estruturas de telhado de edificações, substituindo espécies nobres como a *Aspidosperma polyneuron*, cujo fornecimento tornou-se cada vez mais escasso na atualidade, especialmente para fins de manutenção.



# INTRODUÇÃO

O Pilodyn é capaz de fornecer uma **estimativa quantitativa da densidade** da madeira sem comprometer a integridade dos elementos estruturais. Os resultados encontrados na literatura sobre sua **correlação com a densidade**, aliados à sua **praticidade de manuseio** — por ser leve, de fácil aplicação e não exigir energia elétrica ou baterias —, demonstram seu potencial para inspeções em campo, especialmente em edifícios tombados, onde a mínima intervenção é essencial.

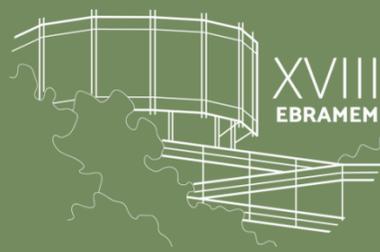


# REVISÃO DA LITERATURA

**Utilização do Pilodyn em árvores:** Görlacher, 1987; Karlinasari *et al.*, 2021; Xianyin *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2015; Pádua *et al.*, 2019; Pecegueiro *et al.*, 2022.

**Utilização do Pilodyn em estruturas:** Teder *et al.*, 2011; Rohanová, 2020; Cunha, 2013.

**Lacunas na literatura:** O Pilodyn é pouco explorado para avaliação da densidade em estruturas de madeira.



## Correlação entre a densidade e a profundidade

- Chen *et al.* (2015) avaliaram árvores e obtiveram um **R<sup>2</sup> de 0,99**;
- Karlinasari *et al.* (2021) que avaliaram 25 espécies indonésias de angiospermas e obtiveram um **R<sup>2</sup> de 0,50** na direção longitudinal, **R<sup>2</sup> de 0,58** na direção radial e **R<sup>2</sup> de 0,65** na direção tangencial;
- Pecegueiro *et al.* (2022) avaliaram a balsa e obtiveram um **R<sup>2</sup> de 0,46** na base e **R<sup>2</sup> de 0,72** em pontos mais altos ao longo do tronco;
- Teder *et al.* (2011) obtiveram um **R<sup>2</sup> de 0,4866** em seu estudo com enfoque na avaliação estrutural.



# Métodos

**Experimento:** Ensaio com o uso do Pilodyn para medir a profundidade de penetração e o valor da escala, ensaio de densidade e teor de umidade – modelo para a densidade.

**Amostragem:** 44 corpos de prova da espécie *Apuleia leiocarpa* com 150 mm x 50 mm x 50 mm.

**Procedimentos:** Pilodyn - Medições na direção perpendicular às fibras (nas 4 faces). Densidade e umidade - ensaios convencionais em laboratório conforme ABNT NBR 7190-3:2022.

**Análise:** Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados e o teste do coeficiente de correlação dos modelos obtidos dos parâmetros medidos.



# Métodos

## Densidade (kg/m<sup>3</sup>)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

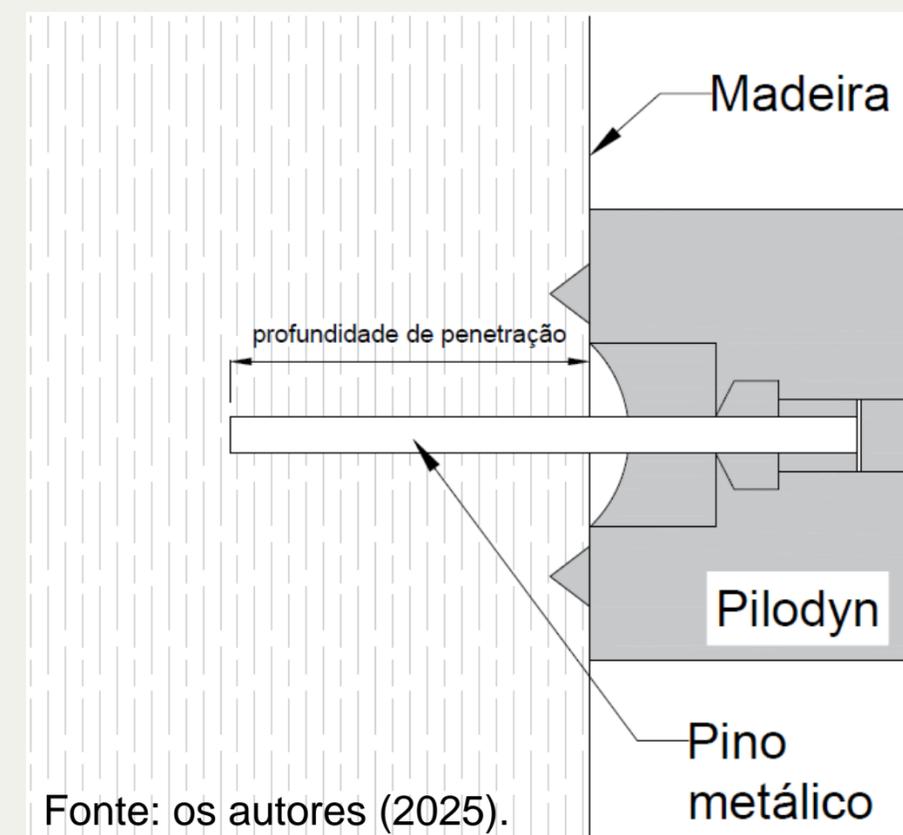
## Teor de umidade (%)

$$T.U. = 100 \frac{(m_i - m_f)}{m_f}$$

A densidade sempre deve ser acompanhada do valor do teor de umidade.



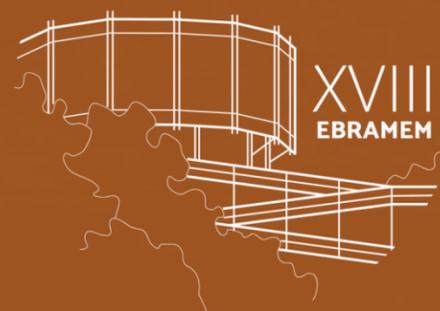
## Medição da profundidade de penetração e do valor da escala com o Pilodyn



Marca Proceq SA  
 Capacidade de penetração = 40 mm  
 $\phi = 2,5 \text{ mm}$

XVIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira

# Métodos



# Resultados

| CP                           | Teor de umidade (%) | Densidade convencional (kg/m <sup>3</sup> ) | Valor da escala do Pilodyn | Profundidade (mm) |
|------------------------------|---------------------|---|----------------------------|-------------------|
| 1                            | 12,5                | 777   | 22                         | 5,65              |
| 2                            | 12,6                | 794   | 22                         | 5,75              |
| 3                            | 12,4                | 761   | 22                         | 5,57              |
| -                            | -                   | -   | -                          | -                 |
| -                            | -                   | -   | -                          | -                 |
| -                            | -                   | -   | -                          | -                 |
| 42                           | 12,3                | 801   | 22                         | 5,12              |
| 43                           | 12,4                | 670   | 21                         | 6,87              |
| 44                           | 11,7                | 817   | 22                         | 5,39              |
| Média                        | 12,2                | 815   | 22                         | 5,44              |
| Desvio Padrão                | 1,10                | 54,9  | 0,52                       | 0,615             |
| Coefficiente de Variação (%) | 8,99                | 6,73  | 2,4                        | 11,3              |



# Resultados

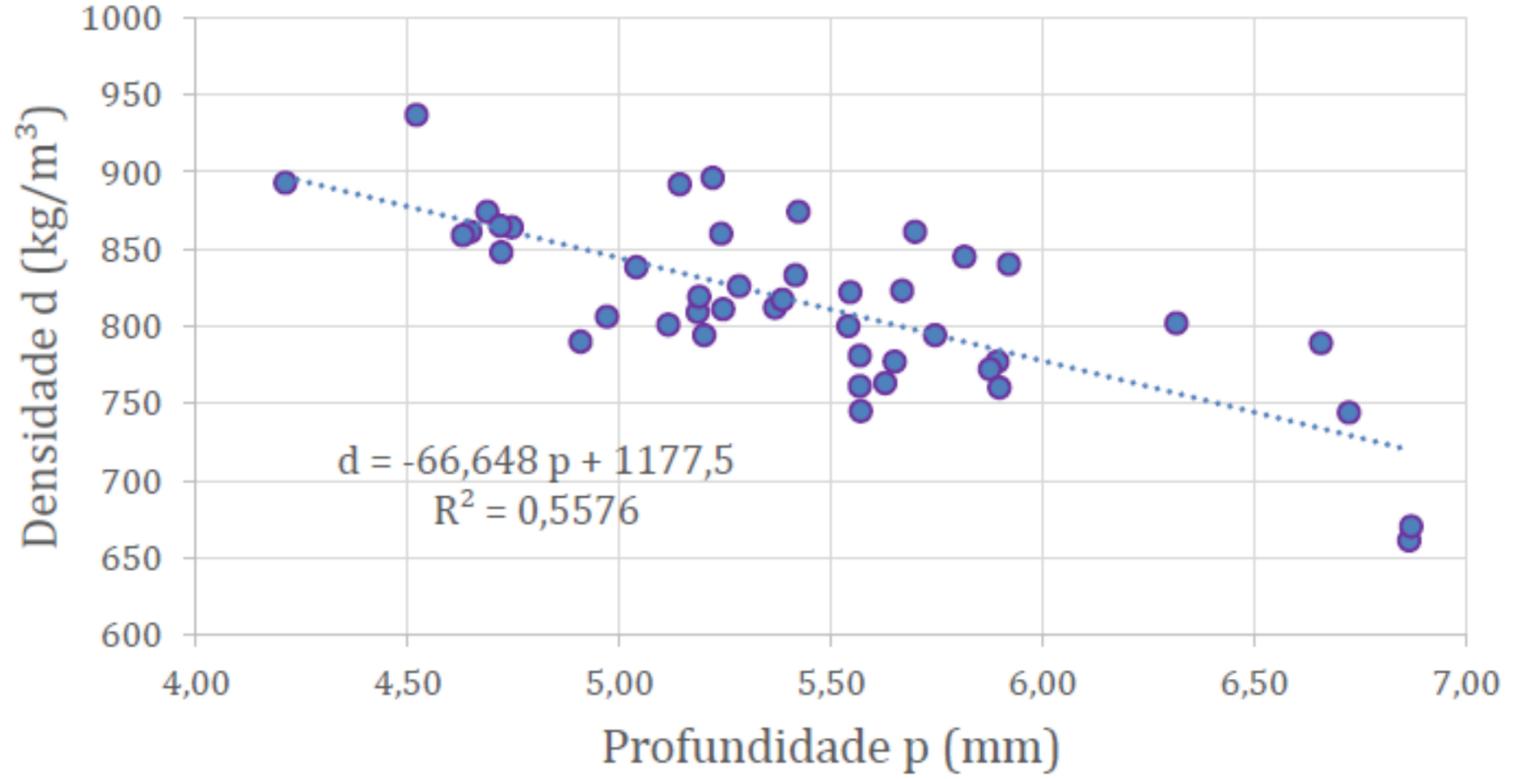
Teste de Shapiro Wilk - Com relação à densidade, o  $W_{\text{calculado}}$  resultou em 0,968, quanto à profundidade, o valor foi de 0,952 e em relação ao valor da escala, foi de 0,955. Sendo assim, todos resultaram em valores **maiores** que o valor do  $W_{\text{crítico}}$  de 0,944 considerando 44 corpos de prova e 5% de nível de confiança.

**Os dados da densidade, profundidade e valor da escala NÃO diferem de uma distribuição normal**

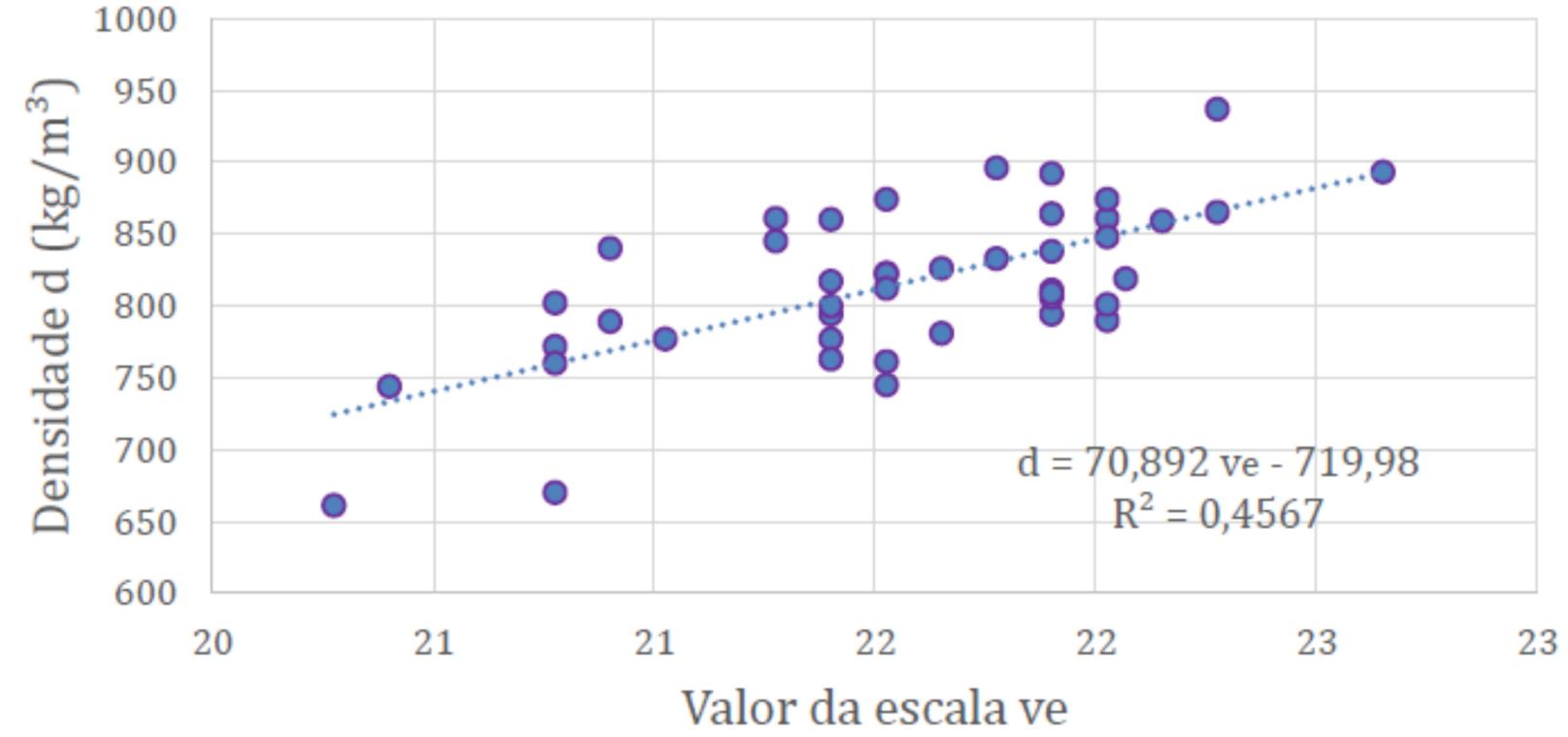


# Resultados

Densidade x Profundidade



Densidade x Valor da escala



# Resultados

## Modelos para a estimativa da densidade

| Parâmetros relacionados                           | Coeficiente de correlação (R) | Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> ) | Modelo                    |
|---|-------------------------------|---|---------------------------|
| Densidade em função da profundidade               | 0,75                          | 0,56  | $d = -66,648 p + 1177,5$  |
| Densidade em função do valor da escala do Pilodyn | 0,68                          | 0,46  | $d = 70,892 v_e - 719,98$ |

Nota: d é a densidade, p é a profundidade de penetração e  $v_e$  é o valor da escala do Pilodyn.



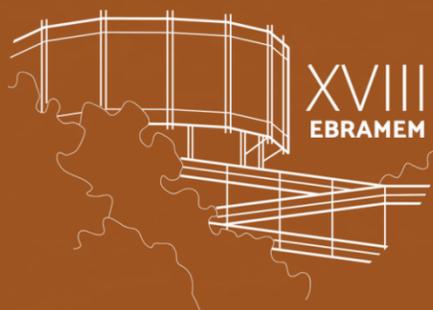
# Resultados

**Teste do coeficiente de correlação:** considerando um nível de significância de 5%, utilizando o t de Student com 42 graus de liberdade. O resultado entre a densidade e a profundidade, foi de 7,276 e entre a densidade e o valor da escala, foi de 5,945, sendo o valor crítico de  $t_{42,5\%}$  igual a 1,684. Como em ambos os casos o resultado foi maior que o valor crítico de  $t_{42,5\%}$ , verifica-se que **há correlação entre os parâmetros avaliados**, sendo que o primeiro apresenta uma correlação negativa e o segundo, positiva.



# Discussão

**Intepretação dos resultados:** É importante destacar que por meio da medição da **profundidade** é possível obter um valor **mais preciso** do que utilizando o valor da escala. Contudo, embora o modelo da densidade em função da profundidade seja mais preciso comparado ao outro, **ambos podem ser utilizados para determinar a densidade** devido à significância dos coeficientes de correlação evidenciada.



# Discussão

**Limitações do estudo:** Os resultados obtidos neste trabalho são válidos para uma espécie ao teor de umidade de 12%. Para maiores refinamentos, sugere-se que sejam realizadas pesquisas considerando outros teores de umidade e faixas de densidades.



# Conclusão

- . Os dois modelos, com a utilização da profundidade e com o valor da escala, são eficazes na estimativa da densidade da espécie *Apuleia leiocarpa* à 12% de teor de umidade;
- . O Pilodyn é uma técnica não destrutiva viável para determinar o valor da densidade da madeira de forma confiável e prática com potencial para aplicação em estruturas de edificações históricas.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-3: **Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas.** Rio de Janeiro, 2022.

CUNHA, J. T. P. e. **Diagnóstico e avaliação da segurança de estruturas de madeira existentes.** 2013. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ramo Construções, Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto., Porto, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/4694>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GÖRLACHER, R.. **Non-destructive testing of wood: "In-situ" method for determination of density, Holz as Roh- und Werkstoff** 45, 273-278, 1987. DOI: 10.1007/BF02608673

# Referência

# S



PECEGUEIRO, M. S.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; BENDAHAN, A. B.; EVANGELISTA, W. V.; BEHLING, M.. **Calibration of the Pilodyn instrument for the indirect in situ determination of the basic wood density of balsa.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 52, n. 12, p. 1-6, maio 2022. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/wK6sZyzzf3bFgyBGpVWVWQpp/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

TEDER, M.; PILT, K.; MILJAN, M.; LAINURM, M.; KRUUDA, R.. **Overview of some non-destructive methods for in situ assessment of structural timber.** In: **3RD INTERNATIONAL CONFERENCE CIVIL ENGINEERING'11**, 3º, 2011, Jelgava. **Proceedings II Materials and Structures.** Estonian University of Life Sciences, Department of Rural Building. Disponível em: [https://www.mvzf.lbtu.lv/sites/mvzf/files/2017-03/Latvia-Univ-Agriculture\\_civil\\_engineering2011.pdf](https://www.mvzf.lbtu.lv/sites/mvzf/files/2017-03/Latvia-Univ-Agriculture_civil_engineering2011.pdf). Acesso em: 15 jan. 2025.

# Referência

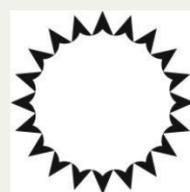
# S



# Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira



# OBRIGADA!



**FAUUSP**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Universidade de São Paulo



INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

Suelem Macena  
sumacena@ipt.br  
suelemmacena@usp.br