

COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa*

Rafaella Dias Ramos¹; Dalton Longue Júnior²; João Vitor Morais da Silva³; Maria Alice Pereira Gomes⁴; Vinícius Oliveira Lima⁵

¹Mestranda em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (ra.fadias@hotmail.com); ²Professor Titular, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (dalton@uesb.edu.br); ³Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (joaomoraisart@gmail.com); ⁴Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (alice.gomes2712@gmail.com); ⁵Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (lima.ovv@gmail.com)

RESUMO

A madeira é um material heterogêneo e é de grande importância a sua caracterização tecnológica visando o melhor direcionando para um produto final. Nesse sentido, a avaliação da qualidade da madeira surge como uma ferramenta de análise, que tem na densidade básica, uma característica imprescindível para um bom diagnóstico. O objetivo principal deste trabalho foi comparar o “método da balança hidrostática” com o “método do paquímetro” para determinação da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, cultivados na região Sudoeste da Bahia. Foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões de aproximadamente de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm e determinada a densidade básica da madeira pelo “método da balança hidrostática” utilizando a norma NBR 11941/2003 (adaptada) e pelo “método do paquímetro” de acordo com a norma NBR 7190/1997. Os resultados apontaram elevados e excelentes coeficientes de determinação entre os diferentes métodos de determinação da densidade básica da madeira para ambas as espécies avaliadas, sendo $R^2 = 0,97$ para *Pinus caribaea* e $R^2 = 0,95$ para *Pinus oocarpa*. Os coeficientes angulares das equações ajustadas foram próximos a 1, o que indica uma variação praticamente constante entre as duas metodologias aplicadas. Assim, foi possível concluir que a determinação da densidade básica da madeira pelo “método da balança hidrostática” e pelo “método do paquímetro” não apresentaram diferenças estatísticas.

Palavras-chave: propriedade física; técnicas de medição; madeiras de coníferas

INTRODUÇÃO

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), o Brasil se destaca como referência mundial em produtividade florestal com cultivos de *Pinus*, com aproximadamente 30,9 m³/ha.ano⁻¹. Entre os plantios comerciais mais importantes, se destacam os cultivos com o gênero *Pinus*, na segunda posição entre as árvores mais cultivadas no Brasil, e que ocupam uma área de aproximadamente 1,9 milhões de hectares por ano.

A madeira é um material heterogêneo e apresenta diferenças significativas em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, tanto entre espécies, dentro da mesma espécie e até mesmo numa mesma árvore. Além disso, a madeira é anisotrópica, o que significa que suas

propriedades tecnológicas variam conforme as três direções de observação (SJÖSTRÖM e WESTERMARK, 1998). Essa variação obriga estudos relacionados a qualidade da madeira para que as suas características tecnológicas possam ser estudadas e determinadas para a fabricação de produtos de alta qualidade. Dentre as diversas características da madeira, a densidade básica se destaca por sua elevada associação entre várias características da madeira, pela associação com variáveis dos processos e dos produtos finais, e por ser a mais utilizada na maioria das pesquisas para expressar a qualidade da madeira (BATISTA, 2012). Além disso, a densidade básica da madeira apresenta como vantagem uma instrumentação simples para sua determinação e tempo relativamente adequado para o resultado, e permite comparar os resultados de forma mais simples por estabelecer condições de medição específicas, definida como um índice calculado pela relação entre a massa de madeira seca pelo volume da madeira completamente saturada (KOLMANN E CÔTE, 1986).

De maneira geral, o aumento da densidade da madeira pode resultar do espessamento das paredes celulares das fibras ou do aumento da proporção de fibras em relação aos vasos, por exemplo. Inversamente, uma maior proporção de vasos, com ou sem diminuição na espessura das paredes celulares, reduz a densidade devido à maior quantidade de espaços vazios na estrutura celular (OLIVEIRA & SILVA, 2003; VIDAURRE, 2020).

Na avaliação da densidade básica da madeira tem-se um obstáculo quando as amostras não possuem formas retilíneas (quadrados ou paralelepípedos), como cavacos, fragmentos de madeira, carvão etc., devido a dificuldade da medição do seu volume com a utilização do paquímetro, aparelho consagradamente utilizado com precisão na determinação do volume de amostras de madeira (TRUGILHO et al., 1990). Para superar esse obstáculo e ser possível a determinação da densidade básica da madeira de qualquer forma de amostra lignocelulósica, tem-se a aplicação do método da balança hidrostática, em que amostras de madeira são saturadas em água acima do ponto de saturação das fibras (PSF), e até que amostra não absorva mais água de forma significativa (volume constante). A imersão em água do material de forma irregular, sobre uma balança de precisão, permite utilizar a conceito de empuxo e determinar o volume da amostra pelo valor anotado na balança (massa da água deslocada), considerando a densidade da água igual a 1 g/cm³ (TRUGILHO et al., 1990).

Neste contexto, a obtenção de dados e informações precisas sobre a densidade básica da madeira é essencial para permitir uma qualidade dos produtos finais (carvão vegetal, celulose, papel, painéis etc.). Ademais, a comparação pelo “método da balança hidrostática” e o “método do paquímetro” fornece informações sobre a eficácia e confiabilidade desses métodos, que beneficia não apenas a indústria, mas também a comunidade científica.

Diante desse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi comparar o “método da balança hidrostática” com o “método do paquímetro” na determinação da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e amostragem da madeira

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (Woodtech) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), no campus de Vitória da Conquista, Bahia. Foram coletadas três árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e três árvores de *Pinus oocarpa* em um plantio florestal experimental de 13 anos, com espaçamento de 3 m x 3 m, localizado na UESB, em Vitória da Conquista, nas coordenadas geográficas 14°53'S e 40°48'W.

Foram retirados quatro discos de 5 a 7 cm de espessura de diferentes alturas das árvores: base (0%), meio (50%) e topo (100%). Corpos-de-prova em forma de paralelepípedo, com dimensões aproximadas de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm, foram produzidos utilizando uma serra de mesa, conforme Figura 1.

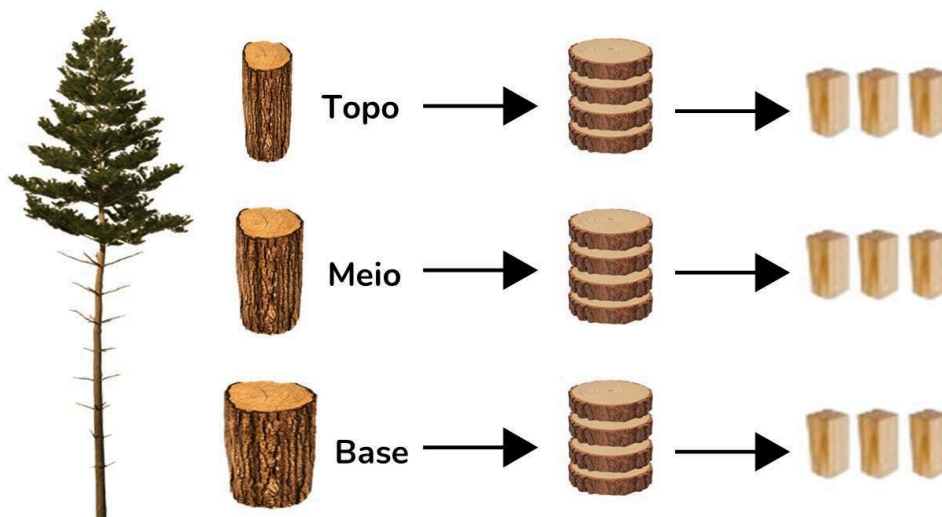


Figura 1 – Ilustração do método de amostragem empregado para o fracionamento do tronco.

Determinação da massa e das dimensões saturadas e secas da madeira

As amostras foram hidratadas em um tanque com água até atingirem o ponto de saturação das fibras (PSF) e peso constante (aproximadamente 30 dias). Após a saturação, o excesso de água foi removido com auxílio de papel absorvente e a massa da madeira saturada (M_u) proporcional ao volume saturado pelo método da balança hidrostática foi determinada utilizando uma balança de precisão ($M_u = V_u$).

Com o auxílio de um paquímetro (NBR 7190/1997), foram medidas as dimensões dos corpos de prova de madeira saturada (D_{sat}) em marcas pré-estabelecidas, permitindo o cálculo do volume saturado (V_{sat}) pela multiplicação dessas dimensões. O volume também foi determinado pelo método da balança hidrostática (NBR 11941/2003), através da imersão da amostra em água. A balança de precisão registrou a massa da água deslocada, correspondente ao volume da amostra de madeira saturada (V_u).

Após a obtenção de todas as informações, as amostras foram levadas para a estufa a 105 ± 3 °C e após totalmente secas, foram determinadas a massa seca (M_s) das amostras, as dimensões secas (D_{seco}) com uso do paquímetro e o volume seco pela multiplicação das dimensões secas (V_{seco}).

A determinação da densidade básica das amostras de madeira pelo “método do paquímetro” (DBpaq) foi feita por meio da Equação 1, com base na norma NBR 7190/1997.

$$DBpaq = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad [1]$$

Onde: DBpaq = densidade básica pelo método do paquímetro, em g/cm³; M_s = massa da amostra seca em estufa, em g; V_{sat} = volume da amostra saturada medida com o paquímetro, em cm³.

A determinação da densidade básica das amostras de madeira pelo “método da balança hidrostática” (DBbh) foi feita por meio da Equação 2, com base na norma NBR 11941/2003.

$$DB(bh) = \frac{M_s}{V_u} \quad [2]$$

Onde: DBbh = densidade básica pelo método da balança hidrostática, em g/cm³; M_s = massa da amostra seca em estufa, em g; V_u = volume da amostra saturada pelo método da balança hidrostática, em cm³.

Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada por meio da estatística descritiva, utilizando

gráficos de correlação entre os métodos por espécie, linhas de tendência e coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica é uma importante característica das madeiras e bastante discutida na maioria dos estudos relacionados a qualidade da madeira. Neste estudo, foi possível observar que para ambas as espécies de madeiras foi possível estabelecer uma relação entre as duas metodologias com elevado grau de correlação, positiva, a partir do uso de uma função polinomial de primeiro grau (modelo mais simples).

Os coeficientes de determinação, que explicam a relação entre as duas metodologias, foram elevados e excelentes, e para a madeira de *Pinus caribaea* foi de 0,9678 e levemente superior em comparação ao do *Pinus oocarpa* que foi de 0,9524, indicativo de que a densidade básica medida pelo método do paquímetro se correlaciona fortemente com a densidade básica da madeira medida pelo método da balança hidrostática (FIGURA 2).

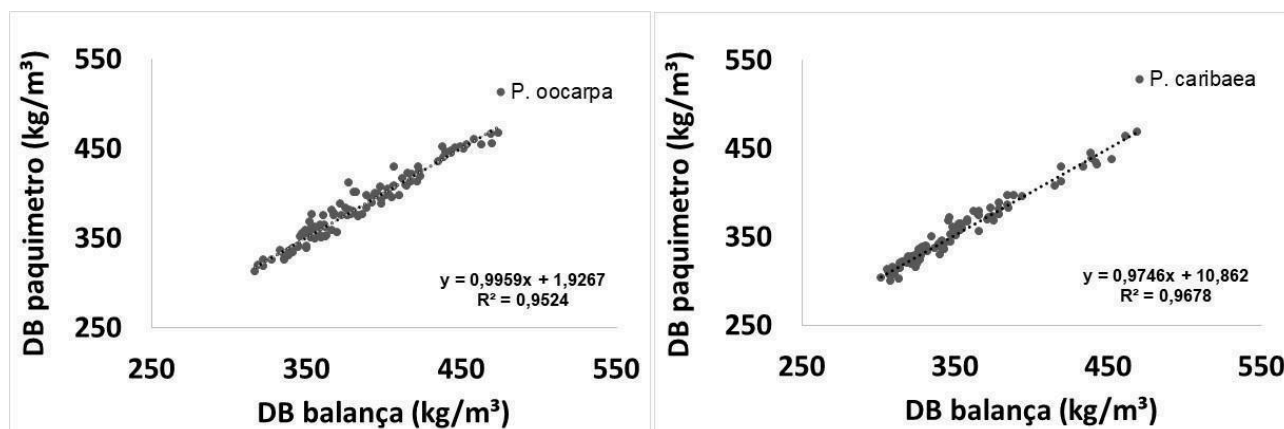


Figura 2 – Correlação entre as metodologias de determinação da densidade básica medida pelo “método da balança hidrostática” e pelo “método do paquímetro” em amostras de madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*.

Os coeficientes angulares das equações ajustadas (inclinações das retas) foram próximos a 1, sendo 0,9959 para *Pinus oocarpa* e 0,9746 para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, que indica uma taxa de variação constante entre as duas metodologias. Em outras palavras, isso significa que a variação observada na densidade básica medida pela metodologia da balança hidrostática é similar a taxa de variação observada na densidade medida no método do paquímetro. No entanto, foi possível perceber que houve uma maior diferença no termo independente, menor na intercepção para *Pinus oocarpa* (1,9) e maior para *Pinus caribaea* (10,9). Isso significa que existe uma diferença constante de aproximadamente 2 kg/m³ e 11 kg/m³ entre as metodologias para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, respectivamente.

Na Figura 3 foi possível observar o efeito da junção dos dados das duas espécies, para a obtenção de uma equação ajustada os cultivos de *Pinus* na região Sudoeste da Bahia. Os valores de densidade básica também apresentaram uma alta e excelente correlação positiva e um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9649$), confirmando uma alta associação entre os dados e a boa qualidade na aplicação e execução dos métodos utilizados. O coeficiente angular foi 0,98, muito próximo de 1, que também significa que a variação observada no “método da balança hidrostática” é proporcional a variação observada no “método do paquímetro”, com um coeficiente 8,5 kg/m³ de diferença entre os métodos.

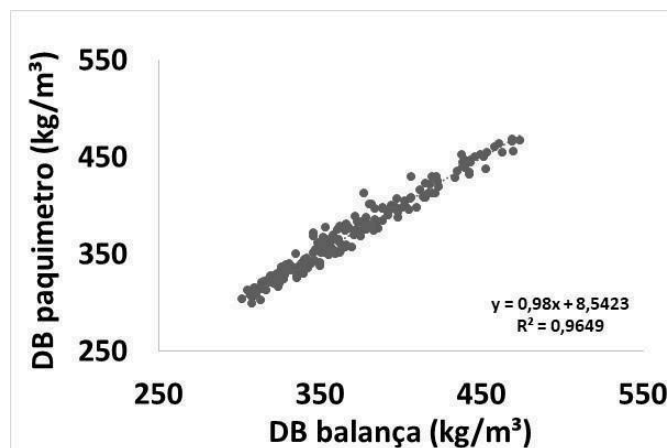


Figura 3 – Correlação entre os valores de densidade básica obtidos pelo método do paquímetro digital (DB paquímetro) e pelo método da balança hidrostática (DB balança hidrostática).

Lima et al. (2022) avaliaram a densidade básica da madeira de *Cariniana micranta* e compararam o método da balança hidrostática e o método do paquímetro, e concluíram de forma semelhante a esta pesquisa, que ambos os métodos são eficazes e não apresentaram diferenças significativas entre os resultados.

Por fim, é importante ressaltar que apesar de ser possível obter a mesma densidade básica da madeira utilizando tanto o “método da balança hidrostática” quanto o “método do paquímetro”, a escolha do método adequado depende da forma da amostra e dos equipamentos disponíveis. O “método da balança hidrostática” possui alta precisão para amostras de formas irregulares, pois não depende da forma geométrica regular da amostra, enquanto pode ser demorado devido ao tempo necessário para a saturação completa da amostra. Em contrapartida, o método do paquímetro é mais rápido e direto, principalmente para amostras com formatos regulares, contudo é menos preciso para amostras com formas irregulares, o que pode acarretar erros de medição devido a imprecisões na leitura das dimensões (SIF, 1984).

Trugilho (1990), em seu estudo comparando seis métodos para determinar a densidade básica da madeira de *Hymenaea courbaril* L., constatou que o “método da balança hidrostática” foi um dos mais precisos, enquanto o “método do paquímetro” se revelou o menos preciso.

Apesar da elevada relação entre os métodos, mais estudos precisam ser realizados quando forem avaliados diferentes locais e espécies florestais para a confirmação do grau de associação entre as metodologias e das relações entre as mesmas.

CONCLUSÃO

Os resultados permitiram concluir que a determinação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis* pelo “método da balança hidrostática” e pelo “método do paquímetro” não apresentaram diferenças e podem ser utilizados por espécie ou por agrupamento das espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Normas Técnicas. **NBR 11941**, densidade básica da madeira, 6p, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7190**, Projeto de Estruturas de Madeira, 107p, Rio de Janeiro, 1997.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP Holzsysteme**. 338f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

IBÁ – Indústria Brasileira de produtores de Árvores. **Relatório IBÁ 2023 ano base 2022**. Brasília: 2023. 46 p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology Berlin**: Springer-Verlag, 1968. v.1. 592p.

LIMA, E. A. C. *et al.* Determinação do teor de umidade e densidade básica da madeira de *Cariniana micrantha* Ducke baseado na norma da ABNT 7190-3/2022. **Conjecturas**, Caxias do Sul, v. 24, n. 1, p. 324-336, 2022.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA. J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

RAMOS, R. D. **Estudo da densidade básica e composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso**. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2023.

SJÖSTRÖM, E; WESTERMARK, U. Chemical Composition of Wood and pulps: Basic Constituents and Their Distribution. In: SJÖSTRÖM, E., ALÉN, R. **Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking**. Helsinki: Editora Springer, 1998. P. 1-20.

SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 5 p - 13 p. (Boletim Técnico, 1).

TRUGILHO, P.F. *et al.* Comparação de métodos de determinação da densidade básica da madeira. **Acta Amazônica**, v.20 (único), p. 307-319, 1990. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus.

VIDAURRE, G. B. *et al.* **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações florestais**. Vitória: Editora universitária - Edufes, 2020. p. 132.