

Determinação da densidade básica da madeira jovem de eucalipto por dois procedimentos diferentes

Stéffany de Lima Araujo¹; Thayanne Caroline Castor Neto¹; Gustavo Jaske da Conceição¹; Érica Patrícia Pinto Queiroz¹; Bruno Duarte Lourenço de Araújo¹; Graziela Baptista Vidaurre Dambroz¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil – steffanylima02@yahoo.com.br

Resumo: Este estudo comparou a densidade básica da madeira de quatro clones de eucalipto utilizando dois métodos: o gravimétrico e o do máximo teor de umidade. As amostras foram coletadas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, provenientes de plantações comerciais em São Paulo. Os resultados mostraram que ambos os métodos forneceram valores similares de densidade básica, com médias de 474 Kg m⁻³ e 483 Kg m⁻³, para o método gravimétrico e máximo teor de umidade, respectivamente. A análise estatística indicou que as diferenças entre os métodos não foram significativas a 5% de probabilidade de erro, sugerindo que ambos são adequados para a caracterização da densidade básica da madeira de eucalipto. Assim, a escolha do método pode ser baseada em critérios práticos e operacionais, sem comprometer a qualidade dos dados obtidos.

Palavras-chave: Caracterização da madeira, florestas plantadas, propriedades físicas.

Determination of the basic density of Young *Eucalyptus* wood by two different procedures

Abstract: This study compared the basic density of wood from four *Eucalyptus* clones using two methods: gravimetric and maximum moisture content. Samples were collected from clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*, from commercial plantations in São Paulo. The results showed that both methods provided similar basic density values, with averages of 474 Kg m⁻³ and 483 Kg m⁻³, for the gravimetric method and maximum moisture content, respectively. The statistical analysis indicated that the differences between the methods were not significant at a 5% probability of error, suggesting that both are suitable for characterizing the basic density of *Eucalyptus* wood. Thus, the choice of method can be based on practical and operational criteria, without compromising the quality of the data obtained.

Keywords: Characterization of wood, planted forests, physical properties.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da densidade básica da madeira é uma etapa fundamental na caracterização de suas propriedades físicas, sendo um parâmetro amplamente utilizado na indústria madeireira para avaliar a qualidade do material. A densidade

básica é definida como a relação entre a massa seca da madeira e seu volume saturado, sem considerar o teor de umidade presente no material. Esta característica é especialmente importante para espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, amplamente utilizado em diversas aplicações industriais, desde a produção de celulose até a fabricação de produtos sólidos de madeira (Zobel; Van Buijtenen, 1989).

O eucalipto, devido à sua rápida taxa de crescimento e adaptabilidade a diferentes condições climáticas e de solo, tornou-se uma das principais espécies florestais cultivadas no Brasil. A variabilidade nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto, no entanto, pode ser significativa, especialmente em madeira jovem, onde a influência de fatores como o espaçamento de plantio, o manejo silvicultural e as condições ambientais se tornam mais pronunciadas (Hillis; Brown, 1984). Dentro desse contexto, a precisão da determinação da densidade básica torna-se crucial, pois essa propriedade está intimamente ligada à qualidade da madeira e à sua adequação para diferentes usos industriais.

Diversos métodos podem ser utilizados para a determinação da densidade básica da madeira. Dentre eles, o método gravimétrico, que utiliza a balança hidrostática, e o método do máximo teor de umidade (MTU) são extremamente reconhecidos e trabalhados tanto em pesquisas científicas quanto na prática industrial (Trugilho *et al.*, 2003). O método gravimétrico baseia-se no princípio de Arquimedes, onde o volume da madeira é determinado pela diferença de peso ao submergir uma amostra em água. Já o método do máximo teor de umidade estima o volume a partir do ponto em que a madeira atinge seu teor de umidade máxima, ou seja, quando todos os seus espaços capilares são preenchidos com água (Smith, 1954).

A comparação entre esses métodos é relevante, pois cada um apresenta vantagens e limitações em termos de precisão, reprodutibilidade e aplicabilidade prática. Estudos anteriores indicam que a escolha do método pode impactar significativamente os resultados de densidade básica, especialmente em espécies com características anatômicas distintas, como o eucalipto (Foelkel; Brasil; Barrichelo, 1971). Portanto, a análise comparativa desses métodos é essencial para a compreensão das variações observadas e para o desenvolvimento de procedimentos padronizados que garantam a confiabilidade dos dados obtidos.

Diante desse cenário, o objetivo do trabalho foi comparar a densidade básica da madeira jovem de eucalipto realizada pelo método de imersão e pelo método do máximo teor de umidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e amostragem

Foram estudadas as madeiras de quatro clones de eucalipto, sendo dois híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (C1 e C2), um *Eucalyptus grandis* (C3) e um *Eucalyptus urophylla* (C4), aos seis anos de idade, provenientes de plantação comercial pertencente a uma empresa produtora de painéis MDF, nos municípios de Lençóis Paulista (C1) e Agudos (C2, C3 e C4), estado de São Paulo, Brasil.

Os locais de coleta apresentaram temperatura média de 21,5 e 22,2°C e precipitação de 1485 e 1411 mm ano⁻¹, respectivamente para Lençóis Paulista e Agudos, entre os anos de 2016 a 2022. Os espaçamentos de plantio foram o 3,00 x 1,90 m para C1, C2 e C3 e 3,00 x 2,00 m para C4, sendo adotados manejos silviculturais semelhantes para todos os clones.

Foram coletadas cinco árvores por clone, de acordo com o diâmetro médio do plantio estabelecido pelo inventário florestal, desconsiderando as duas primeiras linhas de bordaduras. Além disso, foi adotado o diâmetro mínimo de 5 cm para determinação da altura comercial. Foram retirados discos de 3,50 cm de espessura em cinco posições do fuste comercial (0, 25, 50, 75 e 100%), além de uma amostra na posição do diâmetro a altura do peito (DAP), medida a 1,30 m do solo.

2.2. Determinação da densidade básica

A análise de densidade básica pelo método gravimétrico da madeira foi realizada com os discos das seis posições, e determinada conforme adaptação da NBR 11941 (ABNT, 2003), em que, uma cunha de 45° foi retirada de cada disco, possibilitando o cálculo da densidade básica média em cada posição e no fuste.

Para a determinação da densidade básica pelo MTU, foi calculado o teor de

umidade máximo das amostras conforme Silveira, Rezende e Vale (2013) e em seguida prosseguiu-se com as recomendações de Smith (1954), onde a densidade básica é calculada pela Equação 1.

Na qual, m_s é a massa das amostras saturadas (Kg) e m_{103} é a massa das amostras secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (Kg).

2.3. Análise dos dados

As análises foram processadas no software R Studio versão 4.0.2 (R Core Team, 2020). O estudo foi estruturado em delineamento inteiramente casualizado (DIC). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificação da normalidade e o de Levene para homogeneidade de variâncias. Utilizou-se o teste F da análise de variância (ANOVA) para comparação entre métodos. A diferença entre procedimentos (Kg m^{-3}) corresponde à diferença entre a média de densidade básica pelos dois métodos empregados em cada árvore (repetição).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os quatro clones (C1, C2, C3, C4) indicam que ambos os métodos forneceram valores próximos, com variações mínimas (Tabela 1). O método gravimétrico apresentou médias de densidade básica de 474 Kg m^{-3} , enquanto o MTU forneceu uma média ligeiramente superior, de 483 Kg m^{-3} . A diferença entre os procedimentos variou de 6 a 12 Kg m^{-3} , visto que a maior discrepância foi observada no clone C2.

Tabela 1: Densidade básica (Kg m^{-3}) da madeira de eucalipto obtida por dois procedimentos diferentes.

Procedimentos de determinação	C1	C2	C3	C4	Média dos clones
Gravimétrico	474 ^{ns} (36)	502 ^{ns} (44)	466 ^{ns} (25)	454 ^{ns} (26)	474 ^{ns} (38)
MTU	482 (37)	513 (39)	472 (26)	463 (30)	483 (38)
Diferença entre procedimentos	10 (8)	12 (9)	6 (5)	9 (7)	9 (8)

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

A análise estatística demonstrou que as diferenças entre os métodos não foram significativas para nenhum dos clones estudados, conforme indicado pelo teste F ($p > 0,05$). Esse resultado sugere que ambos os métodos podem ser utilizados de forma equivalente para a determinação da densidade básica da madeira de eucalipto.

No entanto, a ligeira superioridade dos valores obtidos pelo MTU em relação ao método gravimétrico pode ser atribuída às particularidades de cada técnica. O método gravimétrico, por ser mais direto e baseado no princípio de Arquimedes, tende a fornecer uma estimativa precisa do volume saturado da madeira. Por outro lado, o MTU, que depende do cálculo do teor de umidade máximo, pode estar sujeito a variações na precisão devido a fatores como a dificuldade de atingir o ponto de saturação completo das amostras (Smith, 1954; Trugilho *et al.*, 1990).

Apesar das variações observadas, a não significância estatística indica que tais diferenças não comprometem a confiabilidade dos resultados. Este achado está em consonância com estudos anteriores que também não identificaram diferenças expressivas entre métodos para espécies com características anatômicas semelhantes ao eucalipto (Foelkel; Brasil; Barrichelo, 1971).

A escolha do método para determinação da densidade básica da madeira de eucalipto pode depender de fatores como disponibilidade de equipamentos, tempo e recursos disponíveis. O método gravimétrico, embora mais simples, requer cuidados na medição e controle da temperatura da água para evitar variações. Já o MTU, embora um pouco mais complexo, pode ser mais vantajoso em situações onde a precisão do teor de umidade é crucial, como em estudos de umidade crítica ou em condições de campo onde o método gravimétrico pode ser menos prático (Hillis; Brown, 1984).

Em suma, a ausência de diferenças significativas entre os métodos sugere que ambos são adequados para a caracterização da densidade básica em clones de eucalipto, permitindo flexibilidade na escolha do método conforme as necessidades específicas de cada estudo ou aplicação.

4. CONCLUSÃO



Engenharia
Industrial
Madeireira



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

Os resultados deste estudo indicam que não há diferença significativa entre os métodos gravimétrico e do máximo teor de umidade na determinação da densidade básica da madeira jovem de eucalipto. Ambos os métodos apresentaram resultados consistentes e podem ser utilizados de forma intercambiável, dependendo das condições experimentais e das exigências de precisão do estudo. A escolha do método pode, portanto, ser baseada em critérios práticos e de conveniência, sem prejuízo da qualidade dos dados obtidos.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts for Wood Production**. London: CSIRO, 1984.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 2, p. 179-184, 2013.

SMITH, D. M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. **United States Forest Products Laboratory**, Report no. 2014, 1954.

TRUGILHO, P. F. *et al.* Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, v. 20, p. 307-319, 1990.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood Variation: Its Causes and Control**. Berlin: Springer, 1989.