

Comparação de três diferentes métodos para a determinação da densidade básica de cavacos de madeira

Geraldo Bortoletto Júnior¹, Ivaldo Pontes Jankowsky¹, Danila Estevam Alvez da Cruz², Felipe Zanon Lima¹, Alex Canale¹

¹ Departamento de Ciências Florestais (LCF), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba/SP, Brasil.

² Eucatex – Unidade Painéis e Pisos, Botucatu/SP, Brasil.

* e-mail do autor correspondente: gjunior@usp.br

Resumo: A densidade básica correlaciona-se diretamente com várias propriedades da madeira e assim é um importante indicador da qualidade dessa matéria-prima para diversas aplicações. O Método de Imersão para obtenção do volume pela variação da massa do líquido, em função da imersão da amostra, o Método de Imersão para obtenção do volume pela variação da massa da amostra, quando imersa no líquido, e o Método do Máximo Teor de Umidade foram empregados na determinação da densidade básica da madeira, com a finalidade de desenvolver um estudo comparativo entre eles. Para tanto, utilizou-se como matéria-prima 46 amostras de cavacos industriais de madeiras de *Eucalyptus* spp. Os dados obtidos foram examinados estatisticamente por meio de análises descritiva e de variância, concluindo-se que os três métodos avaliados produziram resultados de densidade básica estatisticamente iguais.

Palavras-chave: Densidade básica, cavacos, madeiras de eucalipto, métodos.

Comparing three different methods for basic density determination of wood chips

Abstract: The basic density is directly correlated with several wood properties and is an important quality indicator this raw material for various applications. The Immersion Method to obtain the volume by the change in the weight of the liquid, due to the immersion of the sample, the Immersion Method to obtain the volume by the change in the weight of the sample when immersed in the liquid, and the Maximum Moisture Content Method were used to determine the basic density of wood, aiming a comparative study among them. For this purpose, 46 samples of industrial wood chips from *Eucalyptus* spp. were used as raw material. The data obtained were statistically examined through descriptive and variance analyses, allowing to conclude that the three evaluated methods produced statistically equal basic density results.

Keywords: Basic density, chips, eucalyptus woods, methods.

1. INTRODUÇÃO

A densidade de uma substância é definida como a razão entre sua massa e seu volume, sendo expressa no sistema internacional de unidades (SI) em kg m^{-3} ou no sistema centímetro-grama-segundo (CGS) em g cm^{-3} (Forest Products Laboratory, 2010). Contudo, a substância madeira apresenta variações de massa e volume em função do seu teor de umidade (Jankowsky; Galina, 2014); tornando-se necessário especificar em qual teor de umidade sua massa e volume foram determinados, para a adequada expressão da densidade (Walker, 1993).

Dentre as várias formas de expressar a densidade da madeira, uma das mais práticas e simples é a densidade básica; a qual exprime a razão entre a massa absolutamente seca da madeira e seu volume quando totalmente saturada em água. O termo “básica” enfatiza que ambos os parâmetros medidos, ou seja, a massa absolutamente seca e o volume completamente saturado, possuem valores constantes e reproduzíveis.

É consenso na literatura que a densidade básica é um importante indicador da qualidade da madeira para diversas aplicações, uma vez que essa característica física da madeira se correlaciona diretamente com várias propriedades do material, tanto as mecânicas como as físicas.

No processamento primário da madeira, seja para obtenção de madeira serrada ou de cavacos destinados a polpação e painéis reconstituídos, o consumo de energia elétrica nos equipamentos de corte é diretamente relacionado com a densidade básica (Guedes *et al.*, 2020). Nos processos de polpação, é relatado o efeito da densidade básica no consumo de reagentes, na qualidade da pasta celulósica e, posteriormente, na qualidade do papel (Santos e Sansígolo, 2007; Segura, 2015).

Um importante parâmetro nos processos de manufatura dos painéis reconstituídos, tais como o MDP (*Medium Density Particleboard*), o MDF (*Medium Density Fiberboard*) ou OSB (*Oriented Strand Board*), é a razão de compactação (RC); a qual expressa a relação entre a densidade do painel e a densidade básica da matéria prima lignocelulósica (Brito e Bortoletto Júnior, 2020; Brito *et al.*, 2022; Klingenberg, 2022; Aguiar *et al.*, 2023; Ribeiro e Bortoletto Júnior, 2024). A faixa considerada ideal para a RC está entre 1,3 e 1,6 (Maloney, 1993), e para atingir esse objetivo é imprescindível determinar a densidade básica do material.

Embora a densidade básica possa ser medida por métodos não destrutivos (Gouvêa *et al.*, 2011; Pádua *et al.*, 2019), quando a madeira está na forma de cavacos os métodos mais simples são os que envolvem a saturação do material em água.

A determinação do volume pelo Método de Imersão em água, utilizando amostras com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF), baseado no princípio de Arquimedes, pode ser realizada de duas maneiras diferentes: pela variação do peso do líquido, em virtude da imersão da amostra de madeira, ou pela variação de peso da amostra, quando imersa no líquido (Vital, 1984).

Outro meio que pode ser empregado na determinação da densidade básica é o Método do Máximo Teor de Umidade, baseado na relação existente entre a densidade e o máximo teor de umidade que a madeira contém na saturação. Neste caso, a densidade básica é obtida sem a necessidade de se determinar o volume da amostra (Vital, 1984). Empregando-se este método são necessárias somente duas pesagens, uma com a amostra completamente saturada de água e outra com a amostra seca em estufa a 103 ± 2 °C até massa constante (Foelkel *et al.*, 1971).

O objetivo do presente trabalho foi comparar os resultados da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus spp.*, obtidos pela aplicação dos três diferentes métodos; ou seja, o Método de Imersão, conforme as duas diferentes maneiras de obtenção do volume das amostras, e o Método do Máximo Teor de Umidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do material

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas 46 amostras de cavacos industriais de madeiras de *Eucalyptus spp.*, obtidas de plantios localizados no Estado de São Paulo, sem especificação de procedências, espécies e idades.

A massa de cavacos das amostras, contidos em sacos plásticos fechados e numerados de 1 a 46, encontrava-se com aproximadamente 2000 g.

2.2 Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade inicial das amostras foram coletadas, aleatoriamente, 2 subamostras de cavacos de aproximadamente 90 gramas cada. Para evitar qualquer tipo de tendenciosidade, os cavacos de cada amostra não foram

peneirados e nem classificados, mas, apenas misturados manualmente sobre uma bandeja antes da coleta aleatória das duas subamostras.

Considerou-se como o teor de umidade inicial de cada uma das 46 amostras a média da umidade das 2 subamostras, ou seja, a média de uma duplicata. O método para a determinação do teor de umidade dos cavacos foi o descrito na norma NBR 14929 (ABNT, 2017).

2.3 Densidade básica

Para a determinação da densidade básica das amostras foram coletadas, aleatoriamente, 9 subamostras de cavacos, com aproximadamente 100 gramas em qualquer delas, para execução de cada um dos 3 métodos utilizados, a saber: Máximo Teor de Umidade (MTU), Imersão 1 (variação da massa do líquido) e Imersão 2 (variação da massa da amostra). A densidade básica de cada uma das 46 amostras foi obtida, em cada método, pela média da densidade de 3 subamostras.

Antes das análises para determinação da densidade básica, as subamostras coletadas foram acondicionadas em sacos do tipo rede de polietileno, numeradas com plaqueta metálica para identificação e colocadas no interior de uma autoclave; a qual foi fechada e preenchida com água. Durante o dia as subamostras foram submetidas a períodos alternados de vácuo e pressão, com duração de 2 horas cada período. No período noturno, as amostras passaram o tempo todo sob vácuo. Ao final de aproximadamente 54 horas, as subamostras foram retiradas da autoclave e permaneceram submersas em água até o momento dos ensaios.

O teor de umidade final dos cavacos após saturação em autoclave, determinado de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2017), também foi obtido pela média de uma triplicata correspondente a cada um dos métodos avaliados.

Na sequência foi realizada a determinação da densidade básica, seguindo as prescrições da norma NBR 11941 (ABNT, 2003), para as execuções do Método do Máximo Teor de Umidade (MTU) e do Método de Imersão 1; e seguindo os procedimentos adotados no trabalho de Vital (1984) para execução do Método de Imersão 2.

2.4 Análise dos dados

Tanto para os dados dos teores de umidade inicial e final, quanto para os dados da densidade básica dos cavacos, uma análise descritiva foi realizada, compreendendo o cálculo das respectivas médias, desvios-padrão, coeficientes de variação e identificação dos valores médios, máximos e mínimos dos três conjuntos de dados, referentes a cada um dos métodos estudados. Com a finalidade de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios de densidade básica da madeira, obtidos pelos 3 métodos estudados, uma análise de variância (ANOVA) foi realizada ao nível de 1% de probabilidade de erro ($\alpha = 0,01$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teores de Umidade (TU) e densidade básica (DB) dos cavacos

Os dados referentes aos teores de umidade inicial e final, bem como da densidade básica dos cavacos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos teores de umidade e densidade básica dos cavacos de madeira de *Eucalyptus* spp.

Amostra	TU Inicial (%)	TU Final (%)	DB MTU (g/cm ³)	DB Imersão 1 (g/cm ³)	DB Imersão 2 (g/cm ³)
1	40	142	0,483	0,487	0,492
2	48	133	0,505	0,511	0,507
3	42	125	0,526	0,532	0,532
4	75	158	0,448	0,451	0,459
5	53	156	0,452	0,439	0,462
6	48	183	0,403	0,413	0,399
7	15	115	0,555	0,547	0,556
8	50	136	0,504	0,484	0,500
9	51	139	0,488	0,489	0,487
10	66	138	0,492	0,487	0,492
11	37	121	0,537	0,529	0,539
12	34	168	0,428	0,417	0,428
13	73	190	0,392	0,389	0,397
14	57	173	0,419	0,415	0,421
15	50	225	0,345	0,342	0,344
16	47	197	0,382	0,377	0,384
17	73	201	0,376	0,385	0,374
18	60	221	0,349	0,344	0,350
19	55	139	0,490	0,491	0,496
20	49	181	0,406	0,414	0,411
21	37	162	0,440	0,432	0,445

Tabela 1. (Continuação) Valores médios dos teores de umidade e densidade básica dos cavacos de madeira de *Eucalyptus* spp.

Amostra	TU Inicial (%)	TU Final (%)	DB MTU (g/cm ³)	DB Imersão 1 (g/cm ³)	DB Imersão 2 (g/cm ³)
22	55	197	0,382	0,380	0,384
23	68	144	0,477	0,477	0,476
24	28	173	0,420	0,423	0,418
25	32	181	0,406	0,412	0,408
26	39	169	0,427	0,427	0,431
27	43	150	0,464	0,466	0,462
28	47	132	0,507	0,511	0,510
29	83	155	0,455	0,449	0,452
30	47	149	0,470	0,480	0,478
31	78	156	0,452	0,446	0,452
32	56	151	0,462	0,462	0,458
33	50	139	0,490	0,497	0,493
34	66	145	0,475	0,484	0,466
35	19	130	0,512	0,532	0,523
36	16	116	0,550	0,568	0,557
37	47	158	0,447	0,447	0,449
38	44	180	0,408	0,413	0,414
39	32	160	0,444	0,436	0,462
40	76	175	0,417	0,422	0,417
41	23	149	0,469	0,472	0,463
42	37	140	0,487	0,501	0,494
43	18	187	0,396	0,397	0,397
44	36	223	0,346	0,357	0,350
45	20	168	0,428	0,432	0,430
46	58	184	0,401	0,406	0,402
Média	47	161	0,448	0,449	0,450
Desvio Padrão	17	28	0,053	0,054	0,054
CV (%)	37	17	11,8	12,0	11,9
Valor Mínimo	15	115	0,345	0,342	0,344
Valor Máximo	83	225	0,555	0,568	0,557

TU = Teor de umidade; DB = Densidade básica; MTU = Método do máximo teor de umidade; Método de Imersão 1 = variação do peso do líquido; Método de Imersão 2 = variação do peso da amostra; CV = Coeficiente de variação.

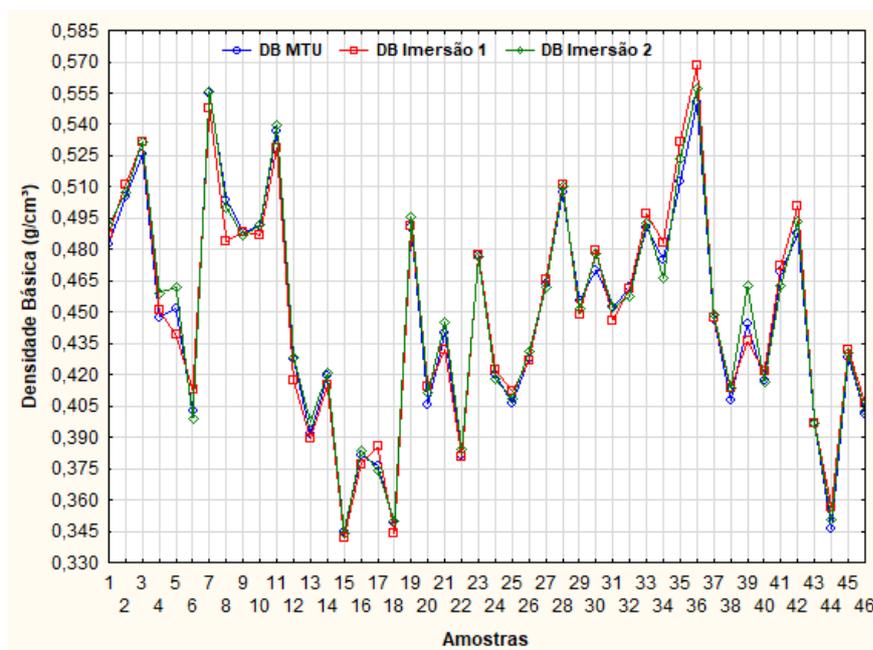
Observa-se na Tabela 1 que a média do TU inicial de todas as amostras foi de 47%, com um coeficiente de variação de 37% para o conjunto de dados. Destaca-se que 6 amostras (números 7, 35, 36, 41, 43 e 45) continham um TU inicial abaixo do PSF, cuja condição não seria adequada para a determinação da densidade básica, segundo Vital (1984). O PSF ocorre entre 25% e 35%, mas para maioria das espécies de madeira é adequado presumir um valor equivalente a 30% (Walker, 1993).

Após a saturação dos cavacos em autoclave, a média do TU final de todas as amostras foi de 161%, com um coeficiente de variação de 17% para o conjunto de dados; coeficiente esse notavelmente inferior ao obtido na determinação do TU inicial dos cavacos. Destaca-se que todas as amostras revelaram valores de TU final acima

do PSF, sendo o mínimo de 115% e o máximo de 225%. Esse resultado indica que o preparo prévio das amostras em autoclave foi eficiente, no sentido de garantir a condição de completa saturação requerida para os cavacos na determinação da densidade básica, conforme apontam Foelkel *et al.* (1971).

Os valores médios da densidade básica do conjunto das amostras determinados em cada método, sejam eles o MTU, Imersão 1 e Imersão 2, respectivamente, 0,448 g/cm³, 0,449 g/cm³ e 0,450 g/cm³, foram próximos entre si. Tal similaridade de resultados pode ser graficamente observada na Figura 1.

Figura 1. Gráfico dos valores de densidade básica (DB) das amostras de *Eucalyptus* spp. determinados pelos métodos MTU, Imersão 1 e Imersão 2. **Fonte:** Autores.



Tanto na Tabela 1 quanto na Figura 1 verifica-se uma diferença entre os valores mínimo e máximo dos resultados da densidade básica, os quais variaram, respectivamente, de 0,342 g/cm³ a 0,568 g/cm³ considerando os valores dos 3 conjuntos, com coeficientes de variação próximos de 12% para cada conjunto.

Os resultados mostram que tal amplitude não se deve aos métodos utilizados na determinação da densidade básica, a qual provavelmente é um reflexo das características individuais de cada amostra, tais como espécies de *Eucalyptus*, possíveis híbridos, plantios seminais e clonais, idades, sítios, dentre outras.

Uma análise de variância foi aplicada aos dados das densidades básicas obtidas pelos 3 métodos (Tabela 2). Nesta análise, cada método constitui um tratamento.

Tabela 2. Análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	2	0,000130	0,000065	0,023	0,9777*NS
Erro	135	0,388114	0,002875		
Total Corrigido	137	0,388244			
CV (%)	11,93				
Média Geral	0,4493116	Número de observações: 138			

* NS = não significativo para Pr > 0,01.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o resultado da análise de variância indicou que não houve diferença significativa entre os métodos, ao nível de 99% de confiança. Portanto, os valores médios da densidade básica do conjunto de amostras, obtidos pelos Métodos do Máximo Teor de Umidade, Imersão 1 e Imersão 2, não diferem entre si e são estatisticamente iguais.

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos e discutidos no presente estudo, conclui-se que os três métodos estudados produziram resultados de densidade básica dos cavacos de madeira de *Eucalyptus* spp. estatisticamente iguais e podem ser empregados sem distinção. Dessa forma, cabe aos técnicos e pesquisadores escolherem qual dos métodos que pode ser melhor executado face as instalações e equipamentos que estiverem disponíveis.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. L.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. *et al.* Evaluation of the oriented strand board properties produced using tropical wood mixtures. **Forests**, v. 14, n. 11, 2143, p. 1-12, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-14929**: Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRITO, F. M. S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Properties of particleboards manufactured from bamboo (*Dendrocalamus asper*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, e7245, 2020.

BRITO, F. M. S.; SILVA, B. A.; CARVALHO, I. M. *et al.* Technological properties of medium density particleboards produced with peanut (*Arachis Hypogaea*) and *Pinus Oocarpa* Hulls. **Floresta e Ambiente**, v. 29, n. 2, e20210101, 2022.

FOELKEL, C. E. B.; MOURÃO BRASIL, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos de coníferas e folhosas. Piracicaba: **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais** (IPEF), n. 2/3, 1971.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, 2010.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L. *et al.* Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

GUEDES, T. O.; SILVA, J. R. M. da; HEIN, P. R. G.; FERREIRA, S. C. Cutting energy required during the mechanical processing of wood species at different drying stages. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 22, n. 4, p. 477-482, 2020.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras** (Curso Técnico). 2ª ed. Piracicaba: ANPM, 2014.

KLINGENBERG, D. **Caracterização da madeira da arborização urbana visando sua valorização em produtos com maior valor agregado**. 2022. Dissertação (Mestrado), USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2022.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993.

PÁDUA, F. A. de; TOMELERI, J. O. P.; FRANCO, M. P. *et al.* Recommendation of non-destructive sampling method for density estimation of the *Eucalyptus* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 21, n. 4, p. 565-572, 2019.

RIBEIRO, V. C. N.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Properties of MDF manufactured with mixtures of wood from paricá plantations and wood waste from native Amazonian species. **Acta Amazonica**, v. 54, n. 2, e54mt23040, 2024.

SANTOS, S. R. dos; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 53-63, 2007.

Segura, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada**. 2015. Tese (Doutorado), USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais** (SIF), Boletim Técnico n. 1, 1984.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993.