



RELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE E A UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla* e *Pinus caribaea*

Daniela Martins Fernandes¹, Antônio José Vinha Zanuncio¹, Amelia Guimarães Carvalho¹, Izabella Melo Araújo¹, Olívia Pereira Lopes¹, Roberta Barbosa Morais¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG (daniela.fernandes@ufu.br)

RESUMO: A determinação do teor de umidade da madeira é fundamental em qualquer processo, pois é uma propriedade física importante, e o minucioso acompanhamento durante as fases de processamento irá definir a trabalhabilidade e a utilização do material de acordo com a necessidade dos consumidores finais. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a relação entre a umidade de amostras saturadas e a densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus caribaea*. Foram selecionadas cinco árvores por espécie e uma tora removida entre 1,3 e 2,3 metros acima do solo. Posteriormente, foram confeccionados trinta corpos de prova, por espécie, com 5 × 5 × 15 cm (radial, tangencial e longitudinal) nas diferentes posições radiais para garantir uma diversidade de densidade básica. Estas amostras foram saturadas e secas em estufa a 103°C para obtenção da massa seca das mesmas. A densidade se correlacionou, negativamente, com a umidade das amostras de *E. urophylla* e *Pinus caribaea*. A densidade média inicial da madeira de *Eucalyptus* e *Pinus* foi entre 123 e 200%, com coeficiente de correlação de Pearson de -0,955 e -0,9733 com a densidade básica, respectivamente.

Palavras-Chave: água livre, propriedades físicas, relação água-madeira.

INTRODUÇÃO

O setor florestal representa 5% do PIB no Brasil com geração de 16,7 bilhões de reais em impostos e 2 milhões de empregos diretos e indiretos. No mercado internacional, a indústria do setor florestal nacional foi responsável pelo montante de US\$ 11,8 bilhões, quantia acima do ano anterior. Entre as espécies, 75,8% da área florestal plantada, é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,53 milhões de hectares e 19,4% de pinus, com aproximadamente 1,93 milhão de hectares (IBÁ, 2022).

A densidade básica da madeira, por definição, é a razão entre a massa seca de uma amostra de madeira e o seu volume (CHAVE, et al., 2006). Este parâmetro está associado com o número de espaços vazios da madeira, quantidade de massa lenhosa, máximo teor de umidade e velocidade de saída da água (Zanuncio et al., 2013).

A quantidade de água de todo material lenhoso, quando recém abatido, é alta e, muitas vezes, superior à sua massa seca (Resende et al., 2018). A água livre se conecta através de ligações capilares nos espaços vazios da madeira, como o lume celular, e a de adsorção por



ligações de hidrogênio nos sítios hidrofílicos da parede celular (Kollmann e Côte, 1968). Estas formas de interação da água com a madeira demandam diferentes quantidades de energia para remover a umidade e, por isto, a velocidade de secagem da madeira não é homogênea, dependendo de variáveis do processo e das características da madeira (Engelund et al., 2013; Zanuncio et al., 2016; Nascimento et al., 2019).

Considerando a importância da determinação das propriedades físicas da madeira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre a densidade básica e a umidade inicial da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus caribaea*.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de madeira utilizadas na pesquisa são provenientes de árvores de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus caribaea* com 15 anos de idade. Foram selecionadas cinco árvores por espécie e uma tora removida entre 1,3 e 2,3 metros acima do solo. Posteriormente, foram confeccionados trinta corpos de prova, por espécie, com $5 \times 5 \times 15$ cm (radial, tangencial e longitudinal) nas diferentes posições radiais para garantir uma diversidade de densidade básica.

Os corpos de prova foram imersos em água até ficarem completamente saturados, em seguida, sua massa e volume foram mensurados. Posteriormente, as amostras foram submetidas em estufa a 103° C para obtenção da massa seca.

A umidade da madeira foi determinada com a equação: $U (\%) = [(U_m - M_s) / M_s]$, em que $U (\%)$ = umidade da madeira; M_u = massa úmida da amostra; M_s = massa seca da amostra. A densidade básica foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado conforme (ABNT NBR 11941, 2003).

A densidade básica foi correlacionada com a umidade das amostras saturadas através de uma análise de correlação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica, das amostras de *E. urophylla* e *P. caribaea*, variaram de 455 a 535 kg.m^{-3} e de 290 a 450 kg.m^{-3} (Figura 1). A maior densidade da madeira de eucalipto está relacionada com estrutura anatômica das folhosas, onde, possuem maior porcentagem de parede celular, principalmente, quando se compara fibras e traqueídes, o que aumenta a densidade básica (Panshin and De Zeew, 1980). Os valores, da densidade básica das madeiras de *E. urophylla* e *P. caribaea* estão nas faixas de variação deste parâmetro, 420 a 600 kg.m^{-3} para



espécies do gênero *Eucalyptus* (Melo et al., 2019) e 310 a 510 kg.m⁻³ para aquelas *Pinus* (Martinez-Meier et al., 2011; Deng et al., 2014).

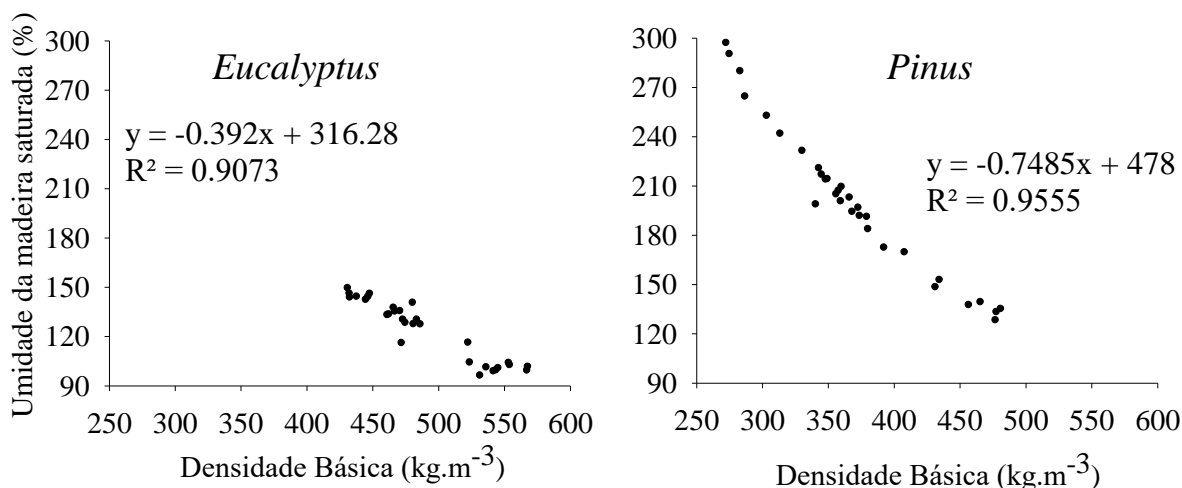


Figura 1: Relação entre a densidade básica e umidade das amostras saturadas de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus caribaea*.

A densidade se correlacionou, negativamente, com a umidade inicial das amostras de *E. urophylla* e *Pinus caribaea* (Figura 1). A densidade média inicial da madeira de *Eucalyptus* e *Pinus* foi de 123 e 200%, com coeficiente de correlação de Pearson de -0,955 e -0,9733 com a densidade básica, respectivamente. Uma alta densidade reduz os espaços vazios na madeira, como o interior das fibras e elementos de vaso e, conseqüentemente, a quantidade de água em seu interior (Kollmann e Côte, 1968).

A maior parte da água nas amostras é de água de livre e, portanto, a redução destes espaços pelo incremento da densidade reduz a quantidade deste tipo de água. A relação inversa entre a densidade e a umidade da madeira saturada foi relatada, também, para toras de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S.Johnson (Zanuncio et al., 2015) e madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Sm. (Soares et al., 2016). A grande quantidade de água na madeira limita sua utilização para fins energéticos (Marques et al., 2018), madeira serrada (Melo et al., 2019) e aumenta sua biodegradação (Thybring et al., 2018), tornando a secagem uma etapa importante no beneficiamento da madeira.

CONCLUSÕES



O método proposto foi eficiente e possui fácil replicação, os valores encontrados para a densidade básica e umidade inicial da madeira de *E. urophylla* e *Pinus caribaea*, foram inversamente proporcionais.

A densidade básica da madeira é um dos principais parâmetros para determinação da sua qualidade, por estar diretamente relacionada às suas demais características. Logo, quando se considera a utilização da biomassa florestal para geração de energia, valores baixos de densidade básica afetam a quantidade de densidade energética.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG- APQ-03512-18) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, vol. 16, no. 6, p. 2356–2367, 2006.

Deng, X., Zhang, L., Lei, P., Xiang, W., & Yan, W. (2014). Variations of wood basic density with tree age and social classes in the axial direction within *Pinus massoniana* stems in Southern China. *Annals of Forest Science*, 71(4), 505–516. doi:10.1007/s13595-013-0356-y.

Engelund, E.T.; Thygesen, L.G.; Svensson, S.; Hill, C.A.S. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Sci Technol.** 47(1), 141–161, 2013.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). Relatório Ibá 2022: Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: [06 de julho de 2023].

KOLLMANN, F. F. P., CÔTE, W. A. Principles of wood science. I. Solid wood. Berlin: Springer-Verlog, 1968.

Marques, A., Rasinmäki, J., Soares, R., & Amorim, P. (2018). Planning woody biomass supply in hot systems under variable chips energy content. *Biomass and Bioenergy*, 108, 265–277. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.11.016

Martinez-Meier, A.; Gallo, L.; Pastorino, M.; Mondino, V.; Rozenberg, P. Phenotypic variation of basic wood density in *Pinus ponderosa* plus trees. *BOSQUE*. Volume: 32 Edição: 3 Páginas: 221-226. 2011.



Melo, D.J., Guedes, T.O., da Silva, J.R.M.; Paiva, A.P. Robust optimization of energy consumption during mechanical processing of wood. *Eur. J. Wood Prod.* 77, 1211–1220 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01458-z>

Nascimento, T. M.; Monteiro, T.C.; Baraúna, E. E. P.; Moulin, J. C.; Azevedo, A. M. Drying influence on the development of cracks in Eucalyptus logs. *BioResources*, v. 14, p. 220-233, 2019.

Panshin AJ, De Zeeuw C. Textbook of wood technology. 4^a.ed. New York: McGraw-Hill Book; 1980.

Resende, R. T., Carneiro, A. de C. O., Ferreira, R. A. D. C., Kuki, K. N., Teixeira, R. U., Zaidan, Ú. R., ... **Resende, M. D. V.** (2018). Air-drying of eucalypts logs: Genetic variations along time and stem profile. *Industrial Crops and Products*, 124, 316–324.

Soares, BCD.; Lima, JT.; da Silva, JRM. Analysing the drying behavior of juvenile and mature *Eucalyptus saligna* wood in drastic drying test for optimal drying schedule. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 18(4): 543 - 554, 2016.

Thybring, E.E.; Kymäläinen, M.; Rautkari, L. Moisture in modified wood and its relevance for fungal decay. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, Volume 11, Issue 3, Pages 418-422 (2018).

Zanuncio, A. J. V.; Monteiro, T. C.; Lima, J. T.; Andrade, H. B.; Carvalho, A. G. Drying biomass for energy use of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* logs. *Bioresources (Raleigh, N.C)*, v. 8, p. 5159-5168, 2013.

Zanuncio, A.V.Z.; Carvalho, A.M.G; da Silva, L.F.; Lima, J.T.; Trugilho, P.F.; da Silva, Predicting moisture content from basic density and diameter during air drying of *Eucalyptus* and *Corymbia* logs. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 17(2): 335 - 344, 2015.

Zanuncio, A.J.V.; Carvalho, A.M.G.; Damásio, R.A.P.; Oliveira, B.S.; Carneiro, A.C.O.; Colodette, J.L. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. *Revista Árvore*, v. 40, p. 723-729, 2016.