

Anatomia da madeira e sua relação com a densidade básica em dezenove espécies comerciais

Rebeca de Oliveira Monteiro¹; Larissa Chacón Dória²; Edilene Silva Ribeiro³;
Joaquim Carlos González⁴; Júlia Sonsin-Oliveira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, Brasil; ²Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas/SP, Brasil; ³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), Cuiabá/MT, Brasil; ⁴Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, Brasil.

Resumo: A anatomia da madeira possui relação com algumas propriedades mecânicas e físicas da madeira, pois a proporção e os diferentes tipos celulares podem influenciar as propriedades tecnológicas. O objetivo deste trabalho foi testar as relações existentes entre a anatomia da madeira com a densidade básica. Foram analisadas dezenove espécies comerciais, mensurados os caracteres anatômicos e aplicada a Análise de Componentes Principais e a Análise de Correlação de Pearson para verificar as relações existentes. As espécies de maior densidade básica apresentaram vasos de menor diâmetro e área, e menor quantidade de parênquima axial. Além disso, raios de menores dimensões (altura e largura) contribuíram para aumento da densidade básica. Assim, é possível a utilização da anatomia da madeira para informar e prever o comportamento tecnológico de uma determinada espécie.

Palavras-chave: Análises macroscópicas, Fração de tecidos, Propriedades físicas

Wood anatomy and its relationship with wood density in nineteen commercial species

Abstract: Wood anatomy has a relationship with some mechanical and physical properties of wood, since the proportion and the different types of cells can influence technological properties. The aim of this study was to test the relations between wood anatomy and wood density. Nineteen commercial species were analyzed, with measurements of anatomical characters, and applied the Principal Component Analysis and Pearson Correlation Analysis to verify the correlations. Species with high wood density had vessels of small diameter and area, and less proportion of axial parenchyma. Furthermore, rays of small dimensions (height and width) contributed to an increase on wood density. Therefore, it is possible to utilize wood anatomy to inform and predict the technological behavior of a given species.

Keywords: Macroscopic analysis, Physical properties, Tissue proportion

1. INTRODUÇÃO

Os estudos das propriedades da madeira visam averiguar o potencial de uso de uma determinada espécie, além de compreender suas características por meio de análises anatômicas, físicas e mecânicas (Valente *et al.*, 2013; Motta *et al.*,

2014). Assim, é fundamental entender as relações entre a estrutura da madeira e suas propriedades, antes da manufatura dos materiais (Chen *et al.*, 2020).

A anatomia da madeira pode auxiliar a prever o melhor uso de um material, ou ainda pré-determinar algumas propriedades mecânicas e físicas, uma vez que os diferentes tipos de células e suas proporções relativas podem influenciar diversas propriedades tecnológicas, como a densidade básica (Fonti *et al.*, 2010; Ziemińska *et al.*, 2013; Beeckman, 2016; Florsheim *et al.*, 2020).

A densidade básica é normalmente empregada para determinar a qualidade da madeira, uma vez que é de fácil mensuração, possui uma relação direta com a composição celular, e pode influenciar outras propriedades físicas (Batista *et al.*, 2010). É definida como a massa ou peso de madeira seco dividido pelo volume de material saturado, normalmente expresso em quilogramas por metro cúbico, ou gramas por centímetros cúbicos (Wiedenhoeft; Eberhardt, 2013).

Grande parte dos estudos que envolvem a relação da densidade básica com a anatomia da madeira são focados nas fibras, pois sabe-se que as variações na densidade básica estão ligadas principalmente com a quantidade de parede celular das fibras, sendo que espécies com alta densidade normalmente possuem fibras de parede mais espessa que espécies com baixa densidade (Chave *et al.*, 2009; De Mil *et al.*, 2018). No entanto, a área dos vasos assim e a densidade de vasos pode também afetar a densidade da madeira, pois determinam a quantidade de espaços vazios no material (Preston *et al.*, 2006), assim como parênquima axial e os raios possuem influência sob essa propriedade (Fujiwara *et al.*, 1991; Zheng; Martínez-Cabrera, 2013; De Mil *et al.*, 2018; Dória *et al.*, 2019).

Apesar da importância dessa propriedade, apenas alguns estudos abordam a correlação entre anatomia e densidade básica, como De Mil *et al.* (2018) com espécies tropicais do Congo e Dória *et al.* (2022) com espécies do Cerrado. Rahman *et al.* (2004), investigaram como a densidade básica pode ser impactada pela proporção de tecidos em *Tectona grandis*, assim como Ziemińska *et al.* (2013) com 24 espécies australianas.

O trabalho teve como objetivo testar a relação entre a anatomia da madeira com a densidade básica de 19 espécies comerciais, por meio de análises anatômicas macroscópicas, para entender como a proporção de tecidos e os caracteres anatômicos podem impactar as propriedades físicas da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Espécies estudadas*

Foi testada a relação entre a anatomia da madeira e a densidade básica de 19 espécies comerciais: *Hymenolobium petraeum* Ducke, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., *Hymenaea courbaril* L., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr., *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima, *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke e *Dinizia excelsa* Ducke (Fabaceae), *Qualea brevipedicellata* Stafleu, *Erismia uncinatum* Warm. e *Vochysia maxima* Ducke (V. *maxima*), *Couratari oblongifolia* Ducke & Kunth (Lecythidaceae), *Pouteria egregia* Sandwith e *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. (*Man. elata*), *Euplassa pinnata* (Lam.) I.M.Johnst. (Proteaceae), *Simarouba amara* Aubl. (Simaroubaceae), *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose (Bignoniaceae), *Protium altissimum* (Aubl.) Marchand (Burseraceae), *Goupia glabra* Aubl. (Goupiaceae) e *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez (Lauraceae).

2.2 *Propriedades físicas*

A densidade básica foi determinada com uso de 20 amostras por espécie com dimensões de 2 cm x 2 cm x 10 cm (altura x largura x espessura), submersas em água por quarenta dias, para obtenção do volume saturado com um paquímetro digital, e então, colocadas na estufa à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até que a massa seca permaneça constante, sendo a densidade básica determinada pelo quociente entre massa seca por volume saturado (COPANT, 1972). A densidade da madeira foi classificada em classes de acordo com Melo (2002): baixa ($< 0,5 \text{ g/cm}^3$); média ($0,5 - 0,72 \text{ g/cm}^3$); e alta ($> 0,72 \text{ g/cm}^3$).

2.3 *Preparação da madeira e análises estatísticas*

As amostras foram lixadas nas seções transversal e tangencial com uso de lixa à mão grão 40, 180 e 320, e lixa d'água grão 600 e 1200, até que os caracteres pudessem ser vistos a olho nu ou com microscópio estereoscópio de 20x de aumento. Os caracteres anômicos foram fotografados nas seções tangencial e transversal, utilizando uma câmera digital Olympus modelo DP25, ligado ao

microscópio estereoscópio SZX7 Olympus, no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) em Brasília, Brasil. As imagens foram analisadas com o programa Image-Pro Plus. A cor da madeira foi determinada de acordo com as descrições de Florsheim *et al.* (2020).

Para as medições dos caracteres anatômicos, foram separadas três amostras e realizadas trinta medições dos seguintes caracteres: diâmetro (μm) e densidade dos elementos de vaso por mm^2 ; altura dos raios (μm) (seção tangencial); largura (μm) e frequência dos raios por 5 milímetros (seção transversal) (COPANT, 1973; IAWA COMMITTEE, 1989; Florsheim *et al.*, 2020). A fração de tecidos para o parênquima axial, fibras, raios, parede de vaso e lume dos elementos de vaso, foi obtida com utilização de um grid de 240 pontos, sobreposto nas imagens anatômicas, utilizando cinco imagens por espécie, com cada intersecção representando um ponto (Zieminska *et al.*, 2015; Dória *et al.*, 2022).

Foi aplicada a Análise de Componentes Principais (PCA) para verificar as relações gerais entre as variáveis, juntamente com a Análise de Correlação de Pearson, para verificar quais relações foram as mais significativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados da PCA (Figura 1) e Pearson (Tabela 1), a densidade da madeira é negativamente relacionada com o diâmetro e área dos vasos, com a proporção de parênquima axial, e proporção de vasos múltiplos, e positivamente relacionada com a densidade de vasos por mm^2 , proporção de raios, frequência de raios/5 mm e proporção de vasos solitários.

Figura 1. Análise de Componentes Principais (PCA) para os caracteres anatômicos, fração de tecidos e densidade básica da madeira.

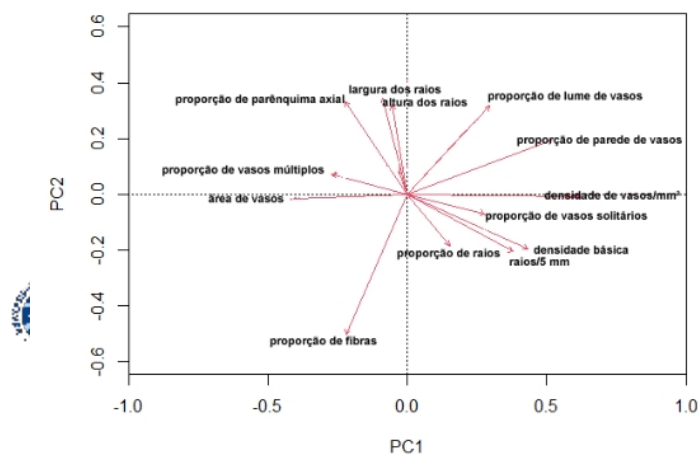


Tabela 1. Análise de Correlação de Pearson para a densidade básica e caracteres anatômicos da madeira.

Propriedades físicas/Caracteres anatômicos da madeira	Densidade básica
DV	-0.57*
R/5mm	0.34*
DeV	0.57*
AR	-
LR	-
AV	-0.55*
PVS	0.34*
PVM	-0.33*
PF	-
PR	0.14 ns
PLuV	-
PPV	-
PPA	-0.33*

DV – Diâmetro de vaso (μm); R/5mm – Frequência de raios por 5mm; DeV – Densidade de vasos por mm^2 ; AR – Altura dos raios (μm); LR – Largura dos raios (μm); AV – Área de vaso (μm); Proporção de vasos solitários; Proporção de vasos múltiplos; PF – Proporção de fibras; PR – Proporção de raios; PLuV – Proporção de lume de vasos; Proporção de parede dos vasos; PPA – Proporção de parênquima axial.

A densidade básica da madeira não foi explicada pela variação na proporção das fibras, o que difere da maioria dos estudos, em que as fibras são os principais elementos celulares determinantes da variação da densidade da madeira, já que são células lignificadas e com função primária de suporte (Martínez-Cabrera *et al.*, 2011; De Mil *et al.*, 2018). Portanto, a densidade da madeira não é diretamente relacionada apenas à proporção de fibras e de parede de fibras nas espécies, pois depende também do volume de madeira alocado aos vasos e ao tecido parenquimático (Lachenbruch; McCulloh, 2014).

Assim, espécies com alta densidade, apresentaram, no geral, vasos de menor diâmetro e área, menor proporção de parênquima axial e predominância de vasos solitários, como reportado em outros trabalhos (Zheng; Martínez-Cabrera, 2013; Hietz *et al.*, 2017; Dória *et al.*, 2022). Vasos de maior diâmetro tangencial e áreas maiores podem diminuir a densidade da madeira por aumentar a quantidade de espaços vazios (Preston *et al.*, 2006), o que foi observado para espécies de baixa densidade. Além disso, quando os vasos são predominantemente solitários, estes espaços vazios diminuem, como observado para *Handroanthus serratifolius*,

Hymenaea courbaril e *Dipteryx odorata*, espécies de alta densidade.

A proporção de células de raio, em especial raios de menores larguras, pode ter aumentado a densidade da madeira em razão da pouca quantidade de espaços intercelulares e lume celular (Taylor, 1969), como observado para *Goupia glabra* e *Pouteria egregia*. No entanto, essa é uma relação variável entre espécies e considerada mais frequente em células de raio com paredes celulares mais espessas e densamente agrupadas, em especial aquelas que conseguem desenvolver lignificação (Rahman *et al.*, 2004; Zimmer; Treu, 2021). Já em *Erismia uncinatum*, *Lonchocarpus cultratus* e *Simarouba amara*, a maior proporção de vasos múltiplos com maiores áreas explicam a menor densidade básica dessas espécies. A maior presença de parênquima axial nas duas primeiras também é outro fator a ser destacado, uma vez que é um tecido de paredes mais finas.

4. CONCLUSÃO

A densidade da madeira foi negativamente correlacionada com o diâmetro do vaso e positivamente com a quantidade de vasos solitários. A maioria das madeiras com maior proporção de parênquima axial possuíram densidades menores. A densidade teve relação positiva com os raios, quando estes apresentaram larguras menores.

Portanto, os estudos que analisam a relação entre anatomia da madeira e suas propriedades físicas, podem fornecer subsídios para prever e informar acerca do comportamento tecnológico de uma espécie através de análises de caracteres anatômicos e proporção de tecidos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF – Serviço Florestal Brasileiro) por conceder o uso dos equipamentos necessários para obtenção das imagens macroscópicas das espécies.

6. REFERÊNCIAS

- BATISTA, D.C.; KLITZKE, R.J.; SANTOS, C.V.T. Basic density and retractibility of wood clones of three *Eucalyptus* species. *Ciência Florestal*, v. 20 n. 4, p. 665–674, 2010.
- BEECKMAN, H. Wood anatomy and trait-based ecology. *Anatomy and trait-based ecology. IAWA Journal*, v. 37, n. 2, p. 127–151, 2016.

- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S. *et al.* Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**. v. 12 n. 4, p.351–366, 2009.
- CHEN, C.; KUANG, Y.; ZHU, S. *et al.* 2020. Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. **Nature Reviews Materials**. v. 5, n.9, p. 642–666, 2020.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de determinación del peso específico aparente**. Caracas, Venezuela: COPANT, 1972.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira**. São Paulo: COPANT, 1973.
- DE MIL, T.; TARELKIN, Y.; HAHN, S. *et al.* Wood density profiles and their corresponding tissue fractions in tropical angiosperm trees. **Forests**. v. 9, 2018.
- DÓRIA, L.C., PODADERA, D.S.; LIMA, R.S. *et al.* Axial sampling height outperforms site as predictor of wood trait variation. **IAWA Journal**. v. 24, p. 1–24, 2019.
- DÓRIA L.C.; SONSIN J.O.; ROSSI S. *et al.* Functional trade-offs in volume allocation to xylem cell types in 75 species from the Brazilian savanna Cerrado. **Annals of Botany**. 2022. DOI: 10.1093/aob/mcac095.
- FLORSHEIM, Sandra M.B.; RIBEIRO, Adriano P.; LONGUI, Eduardo L. *et al.* **Identificação macroscópica de madeiras comerciais do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020.
- FONTI, P.; VON ARX, G.; GONZÁLEZ, I.G. *et al.* Studying global change through investigation of plastic responses of xylem anatomy in tree rings. **New Phytologist**. v. 185, n. 1, p. 42–53, 2010.
- FUJIWARA, S. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bulletin**. v. 13, p. 397–402, 1992.
- HIETZ, P.; ROSNER, S.; SEIFERT, U.H. *et al.* Wood traits related to size and life history of trees in a Panamanian rainforest. **New Phytologist**. v. 213, n.1, p. 170–180, 2017. DOI: 10.1111/nph.14123.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. WHEELER, E.A.; BAAS, P.; GASSON, P. (eds.). **IAWA Bulletin**. v. 10, p. 219–332, 1989.
- LACHENBRUCH, B.; MCCULLOH, K.A. Traits, properties, and performance: how woody plants combine hydraulic and mechanical functions in a cell, tissue, or whole plant. **New Phytologist**. v. 204, p. 747 – 764, 2014.
- MARTÍNEZ-CABRERA, H.I.; SCHENK, H.J.; CEVALLOS-F, S.R.S. *et al.* Integration of vessel traits, wood density, and height in angiosperm shrubs and trees. **American Journal of Botany**. v. 98, n. 5, p. 915–922, 2011. DOI: 10.3732/ajb.1000335
- MELO, J.E. Madeira: características e aplicações. **LPP**, Brasília. 2002.
- MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BRAZ, R.L.; DUARTE, A.P.C.; ALVES, R.C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**. v. 44, n.12, p. 2186–2192, 2014.

PRESTON, K.A.; CORNWELL, W.K.; DENOYER, J.L. Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. **New Phytologist**. v. 170, n. 4, p. 807–818, 2006.

RAHMAN, M.M.; FUJIWARA, S.; HIRAKAWA, Y. *et al.* Wood Density in Relation to Growth Rate and Tissue Proportions of Teak Grown in Bangladesh. **Journal of Forest Planning**. v. 10, n. 2, p. 53–57, 2004.

RIBEIRO, Edilene da Silva. **Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2017.

TAYLOR, F.W. The effect of ray tissue on the specific gravity of wood. **Wood and Fiber Science**. v. 1, n. 2, p. 142–145, 1969.

VALENTE, B.M.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA J.C.; LUCIA, R.M.D. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**. v. 41, n.100, p.485–496, 2013.

WIEDENHOEFT, A.; EBERHARDT, T. Chapter 3: Structure and Function of Wood. In: Wood Handbook – wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. **Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory**, 2010. p. 3.1–3.18.

ZHENG, J.; MARTÍNEZ-CABRERA, H.I. Wood anatomical correlates with theoretical conductivity and wood density across China: Evolutionary evidence of the functional differentiation of axial and radial parenchyma. **Annals of Botany**. v. 112, v. 5, p. 927–935, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct153.

ZIEMIŃSKA, K.; BUTLER, D.W.; GLEASON, S.M. *et al.* 2013. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. **AoB Plants**. v. 5, p. 1–14.

ZIEMIŃSKA, K.; WESTOBY, M.; WRIGHT, I.J. Broad Anatomical Variation within a narrow Wood Density Range—A Study of Twig Wood across 69 Australian Angiosperms. **Plos ONE**. v. 10, n. 4, 2015.

ZIMMER, K.; TREU, A. Lignification and cell wall thickening of ray parenchyma cells in Scots pine sapwood. **Iawa Journal**. v.42, n. 3, p. 235–243, 2021. DOI: 10.1163/22941932-bja10063