

Graziela Baptista Vidaurre Dambroz
Glacyanne Christine Vieira dos Santos Ataíde
Gustavo Jaske da Conceição
Natielly Cristine Gomes de Medeiros
Renata Guilherme Cândido da Silva
Sâmara Magdalene Vieira Nunes
Stéffany de Lima Araújo
Thayanne Caroline Castor Neto
Vaniele Bento dos Santos

FÓRUM DE QUALIDADE DA MADEIRA

**QUALIDADE DA MADEIRA EM PAUTA:
UM DEBATE QUE TRANSFORMA
A INDÚSTRIA**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Even3 Publicações, PE, Brasil)

P953 I Fórum de Qualidade da Madeira: Qualidade da madeira em
pauta: um debate que transforma a indústria [Recurso digital] /
Organização de Graziela Baptista Vidaurre Dambroz...[et al.]. -
Jerônimo Monteiro: NUQMAD/UFES, 2025.

DOI 10.29327/5723687

ISBN 978-65-272-1995-8

1. Madeira. 2. Qualidade da Madeira. 3. Ciências Florestais.
I. Dambroz, Graziela Baptista Vidaurre (Org.). II. Núcleo de
Pesquisa em Qualidade da Madeira (NUQMAD).
III. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

CDD 674

Allini Paulini - CRB-4/2185

COMISSÃO ORGANIZADORA

Coordenadora geral

Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz – UFES

Secretaria geral

Dra. Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataide – UFES

Dra. Thayanne Caroline Castor Neto – UFES

Dra. Vaniele Bento dos Santos – Klabin

M.Sc. Natielly Cristine Gomes de Medeiros – UFES

M.Sc. Sâmara Magdalene Vieira Nunes – UFES

Comissão de apoio

M.Sc. Renata Guilherme Cândido da Silva – Suzano

M.Sc. Stéffany de Lima Araújo – UFES

Bel. Gustavo Jaske da Conceição – UFES

REVISORES

Profa. Dra. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho – UFV

Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior – UFG

Profa. Dra. Cristiane Pedrazzi – UFSM

Prof. Dr. Dalton Longue Júnior – UESB

Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz – UFES

Prof. Dr. Jordão Cabral Moulin – UFES

Profa. Dra. Maria Naruna Felix de Almeida – UEPA

Profa. Dra. Marina Donária Chaves Arantes – UFSJ

Profa. Dra. Rejane Costa Alves – UFES

Dra. Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataide – UFES

Dr. Paulo Henrique Muller da Silva – IPEF

Dra. Thayanne Caroline Castor Neto – UFES

Dra. Vaniele Bento dos Santos – UFES

M.Sc. Natielly Cristine Gomes de Medeiros – UFES

M.Sc. Sâmara Magdalene Vieira Nunes – UFES

M.Sc. Stéffany de Lima Araújo – UFES

APRESENTAÇÃO

O Fórum de Qualidade da Madeira, promovido pelo Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira (NUQMAD/UFES), foi realizado nos dias 13 e 14 de agosto de 2025, em Vitória – ES. O evento reuniu pesquisadores, estudantes, profissionais e empresas, em um espaço de diálogo entre ciência e prática para discutir os desafios e avanços relacionados à qualidade da madeira. No total, foram 84 resumos expandidos aprovados, distribuídos em nove linhas de pesquisa relacionadas à temática do evento. O Fórum reuniu 210 participantes, sendo 47,6% profissionais do setor florestal, 18,6% estudantes de pós-graduação, 17,6% professores, pesquisadores e técnicos de instituições públicas e 16,2% estudantes de graduação. Também participaram 31 empresas e 20 instituições públicas. O Fórum consolidou-se como um espaço de referência, promovendo debates estratégicos e trocas de experiências que fortalecem a integração entre academia, setor produtivo e sociedade. O NUQMAD agradece aos patrocinadores CMPC, Klabin, Suzano, Aperam, Eldorado Brasil e Placas do Brasil, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Também registramos nosso reconhecimento aos apoiadores: a Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia da Madeira, a feira Espírito Madeira e seus idealizadores, a Federação das Indústrias do Espírito Santo – Findes, além do fundamental apoio institucional da Universidade Federal do Espírito Santo, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Este e-book reúne todos os trabalhos apresentados, organizados nos eixos temáticos que refletem a diversidade e a relevância das discussões do evento. A todos que contribuíram para o sucesso deste evento, nosso muito obrigado.

SUMÁRIO

	PÁGINA
ANÁLISES NÃO-DESTRUTIVAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	06
CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS VISANDO O SEU USO EFICIENTE.....	82
IMPACTO DA QUALIDADE DA MADEIRA NA INDÚSTRIA..... FLORESTAL E MADEIREIRA	301
INTERAÇÕES ENTRE AMBIENTES DE CRESCIMENTO E A QUALIDADE DA MADEIRA.....	332
MANEJO SILVICULTURAL E A QUALIDADE DA MADEIRA.....	367
MELHORAMENTO GENÉTICO PARA QUALIDADE DA MADEIRA.....	380
PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DA MADEIRA.....	399
PROPRIEDADES DA MADEIRA E SUA INTERFACE COM O PLANEJAMENTO FLORESTAL.....	418
QUALIDADE DA MADEIRA VISANDO A EFICIÊNCIA E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL.....	442

ANÁLISES NÃO-DESTRUTIVAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

APLICAÇÃO DO NIR NA PREDIÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA PARA A INDÚSTRIA DE CELULOSE

Julia Rodrigues de Araujo Gomes¹, Fernando José Borges Gomes¹, Paulo Ricardo Gherardi Hein², Roberto Carlos Costa Lelis¹, Larisse Aparecida Ribas Batalha¹ e Nilton Louvem da Silva Júnior¹

¹ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

² Departamento de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

*Julia Rodrigues de Araujo Gomes (e-mail): julia.r.gomes@outlook.com

Resumo: A densidade básica da madeira é uma característica essencial na área de tecnologia da madeira, por estar diretamente associada às suas propriedades físicas e mecânicas. Tradicionalmente, essa propriedade é determinada por métodos destrutivos, que demandam maior tempo de análise. Como alternativa, técnicas não destrutivas vêm ganhando destaque, como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), que permite estimar diversas propriedades da madeira de forma rápida e eficiente. Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo preditivo da densidade básica de clones comerciais de *Eucalyptus spp.*, empregando a espectroscopia e análise estatística multivariada. Foram analisadas 100 amostras de cavacos, cuja densidade foi determinada conforme a norma ABNT NBR 11941. Em seguida, os cavacos foram moídos e peneirados, sendo utilizada a fração retida entre as malhas 40 e 60 mesh para aquisição dos espectros. As assinaturas espectrais foram obtidas por espectrômetro e tratadas com a primeira derivada de Savitzky-Golay, visando reduzir ruídos. A modelagem foi realizada por regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R), utilizando o software Chemoface. A validação cruzada dos modelos resultou em $R^2_{cv} = 0,82$ e $RMSE_{cv} = 21,00$ kg/m³, enquanto a validação independente obteve $R^2_p = 0,79$ e $RMSE_p = 21,79$ kg/m³. Os resultados demonstram que a técnica empregada é eficaz para prever a densidade da madeira de *Eucalyptus*, apresentando potencial para aplicações industriais, especialmente na cadeia produtiva de celulose.

Palavras-chave: espectroscopia no infravermelho próximo; qualidade da madeira; avaliação não destrutiva; modelos de calibração; estatística multivariada.

APPLICATION OF NIR IN THE PREDICTION OF BASIC WOOD DENSITY FOR THE PULP INDUSTRY

Abstract: The basic density of wood is an essential characteristic in the field of wood technology, as it is directly associated with its physical and mechanical properties. Traditionally, this property is determined through destructive methods, which require longer analysis time. As an alternative, non-destructive techniques have gained prominence, such as near-infrared spectroscopy (NIR), which allows for the rapid and efficient estimation of various wood properties. This study aimed to develop a predictive model for the basic density of commercial clones of *Eucalyptus spp.* using spectroscopy and multivariate statistical analysis. A total of 100 wood chip samples were analyzed, with their density determined according to the ABNT NBR 11941 standard. The chips were then ground and sieved, and the fraction retained between the 40 and 60 mesh screens was used for spectral acquisition. Spectral signatures were obtained using a spectrometer and treated with the first derivative of Savitzky-Golay to reduce noise. The modeling was performed using partial least squares regression (PLS-R) with Chemoface software. Cross-validation of the models resulted in $R^2_{cv} = 0.82$ and $RMSE_{cv} = 21.00$ kg/m³, while independent validation yielded $R^2_p = 0.79$ and $RMSE_p = 21.79$ kg/m³. The results demonstrate that the applied technique is effective for predicting the wood density of *Eucalyptus*, showing strong potential for industrial applications, particularly within the pulp production chain.

Keywords: Near infrared spectroscopy; wood quality, non-destructive evaluation; calibration models; multivariate statistics.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de polpa de celulose e o principal exportador, o que exige elevados padrões de qualidade da matéria-prima, especialmente quanto às suas características físicas e químicas (Ibá, 2024). Entre elas, destaca-se a densidade básica da madeira, relação entre massa seca e volume saturado, por sua influência direta na uniformidade do mix de cavacos e no planejamento fabril (Dias et al., 2018; Segura, 2015).

Essa propriedade está diretamente relacionada ao Consumo Específico de Madeira (CEM), que representa o volume de madeira necessário para a produção de uma tonelada de celulose. Densidades mais baixas aumentam o consumo de madeira e os custos industriais (Queiroz et al., 2004). Por isso, o controle da densidade básica é essencial para ganhos em produtividade e competitividade (Valverde et al., 2006).

Apesar da confiabilidade dos métodos gravimétricos, seu uso demanda tempo e destruição das amostras (Hein et al., 2009). Como alternativa, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem se mostrado eficaz, permitindo análises rápidas e precisas de propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira (Costa et al., 2018; Ramalho et al., 2017).

A espectroscopia NIR baseia-se na interação da radiação, com comprimentos de onda entre 800 e 2500 nm, com os componentes da amostra, gerando vibrações nas ligações químicas de grupos funcionais como CH, OH, CC, C=O, SH e NH, que absorvem energia em faixas específicas (Martins e Sargentelli, 2021; Tsuchikawa e Kobori, 2015). Essas vibrações são captadas pelos sensores do espectrômetro e resultam em curvas espectrais que refletem a estrutura e a composição do material (Diniz et al., 2019). Entre as principais vantagens do NIR estão a rapidez nas análises, a simplicidade no preparo das amostras e a alta reprodutibilidade em relação aos métodos convencionais (Tsuchikawa e Schwanninger, 2013).

Essa tecnologia tem se tornado cada vez mais útil no setor florestal, especialmente na indústria de Celulose & Papel, onde são exigidos métodos rápidos, precisos e viáveis, considerando o alto volume de amostras processadas (Hans e Alisson, 2021; Lengowski et al., 2018).

Diante disso, este estudo tem como objetivo prever a densidade básica da madeira por meio da espectroscopia no infravermelho próximo associada à modelagem estatística, visando ao desenvolvimento de modelos preditivos aplicados ao controle de qualidade da matéria-prima.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados cavacos de *Eucalyptus spp.* provenientes de 100 talhões distintos, com três árvores amostradas por talhão. A densidade básica das amostras foi determinada segundo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Para as análises espectrais, os cavacos foram transformados em serragem com granulometria controlada (40–60 mesh) utilizando moinho tipo Willey.

As análises NIR foram realizadas com o equipamento microNIR (Viavi Solutions Inc., EUA), utilizando 2,0 g de serragem por amostra, na faixa de 880 a 1660 nm, com média de 150 varreduras por leitura. Os espectros foram adquiridos no software SpectralSoft e analisados com a regressão por mínimos quadrados parciais PLS-R no Chemoface (versão 1.66; Nunes et al., 2012), com e sem pré-tratamentos matemáticos.

A calibração dos modelos foi feita por validação cruzada completa e por conjunto independente (75% calibração e 25% validação). Aplicou-se o pré-tratamento da primeira derivada com o algoritmo de Savitzky-Golay. Outliers foram removidos com base na análise de resíduos, e a seleção dos modelos considerou os coeficientes de determinação (R^2_{cv} e R^2_p) e os erros quadráticos médios (RMSE_{cv} e RMSE_p).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de madeira de *Eucalyptus* analisadas apresentaram uma densidade básica média de 441 kg/m³, com valores oscilando entre 359 kg/m³ e 562 kg/m³, e um coeficiente de variação de 11,09%. Dados semelhantes foram reportados em diversos estudos (Mesquita Pimenta et al., 2024; Gomes et al., 2015). Dessa forma, os resultados obtidos no presente estudo, encontram-se em conformidade com os dados da literatura, situando-se dentro do intervalo considerado típico para o gênero *Eucalyptus*.

Na Tabela 1, são apresentadas as estatísticas referentes à validação cruzada completa e independente da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, com base nos espectros sem pré-tratamento e após aplicação da primeira derivada como tratamento espectral.

Os modelos obtidos apresentaram R^2_{cv} de 0,80 sem tratamento e 0,82 com tratamento, RMSE_{cv} de 21,64 kg/m³ e 21,00 kg/m³, respectivamente. Tanto o modelo sem tratamento o com tratamento forneceram calibrações precisas; no entanto, o modelo com tratamento apresentou valores melhores. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos com espectrômetros NIR de bancada. Lazzarotto e Magalhães (2014), por exemplo, obtiveram um R^2_{cv} de 0,78 e RMSE_{cv} de 21 kg/m³ na estimativa da densidade básica em amostras de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus pellita*. Estopa et al. (2017) encontraram R^2_{cv} de 0,33 e RMSE_{cv} de 27 kg/m³, em modelos espectroscópicos para fenotipagem em programas de melhoramento genético. Resultados similares foram reportados por Gomes et al. (2025), em um estudo sobre predição da densidade básica de *Eucalyptus spp.* com o uso do NIR.

Tabela 1: Parâmetros de PLS-R da validação cruzada e independente para prever a densidade básica das amostras.

Modelo	Tratamentos	Validação cruzada completa		Validação independente	
		R ² _{cv}	RMSE _{cv}	R ² _p	RMSE _p
1	Sem tratamento	0,80	21,64	0,79	21,79
2	Primeira derivada	0,82	21,00	0,79	21,79

R^2_{cv} : coeficiente de determinação da validação cruzada completa; RMSE_{cv}: raiz do erro quadrático médio da validação cruzada completa; R^2_p : coeficiente de determinação da validação independente; RMSE_p: raiz do erro quadrático médio da validação independente.

Além disso, a Tabela 1 também apresenta os resultados da validação independente. O modelo gerado obteve R^2_p de 0,79 e um RMSE_p de 21,79 kg/m³, o desempenho dos modelos em ambos os processos de validação foi semelhante e satisfatório, demonstrando assim a eficiência dos modelos calibrados. Na literatura, Lazzarotto e Magalhães (2014) reportaram um R^2_p de 0,62 e RMSE_p de 27 kg/m³ em um conjunto de 56 amostras para calibração e 28 para validação. Estopa et al. (2017) apresentaram correlação ainda mais baixa, com R^2_p de 0,13 e RMSE_p de 23 kg/m³, empregando 350 amostras para calibração e 131 para validação. Medeiros et al. (2024) em um trabalho comparando o desempenho do NIR portátil e o de bancada, reportaram valores de R^2_p 0,69 e RMSE_p de 53,5 Kg/m³ na determinação da densidade básica com o NIR portátil.

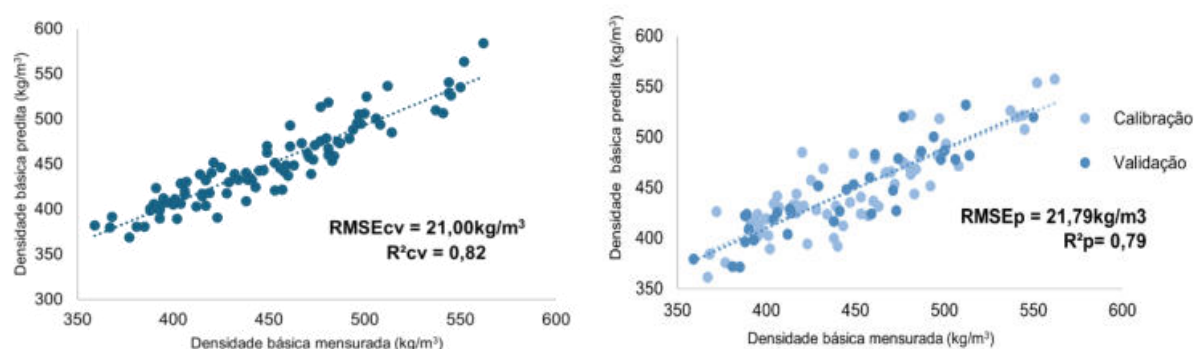


Figura 1: Dispersão dos dados de validação cruzada (esquerda) e da validação independente (direita), após tratamento matemático nas amostras de *Eucalyptus*.

A Figura 1 apresenta a dispersão dos dados da validação cruzada e independente com os espectros tratados pela primeira derivada, evidenciando a forte correlação entre os valores laboratoriais e os estimados por NIR. Os erros de predição obtidos estão dentro da faixa considerada satisfatória na literatura, confirmando a viabilidade e robustez do modelo proposto. Apesar de alguns estudos utilizarem NIR de bancada, que possui maior sensibilidade, o equipamento portátil utilizado demonstrou desempenho semelhante, reforçando seu potencial para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus*.

4. CONCLUSÃO

O modelo desenvolvido apresentou desempenho satisfatório na predição da densidade básica da madeira, com resultados dentro do esperado pela literatura. A aplicação do tratamento espectral contribuiu para maior precisão nas estimativas. A utilização do NIR demonstrou-se eficiente, essa ferramenta se apresenta como uma alternativa promissora para atender às demandas da indústria de base florestal, abrindo caminhos para novas pesquisas e aprimoramentos que explorem maiores aplicabilidades e potenciais benefícios.

REFERÊNCIAS

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

COSTA, E. V. S., ROCHA, M. F. V., HEIN, P. R. G., AMARAL, E. A., SANTOS, L. M. D., BRANDÃO, L. E. V. D. S., & TRUGILHO, P. F. Influence of spectral acquisition technique and wood anisotropy on the statistics of predictive near infrared-based models for wood density. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 26 n. 2, p. 106-116, 2018.

DIAS, A.C.C., MARCHESAN, R., ALMEIDA, V.C., MONTEIRO, T.C., MORAES, C.B. Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 9, n. 1, p. 37-44, 2018

DINIZ, C. P.; GRATTAPAGLIA, D.; MANSFIELD, S. D.; FIGUEIREDO, L. F. A. Near infrared based models for lignin syringyl/guaiacyl ratio of *Eucalyptus benthamii* and *E. pellita* using a streamlined thioacidolysis procedure as the reference method. **Wood Science and Technology**, v. 53, n. 3, p. 521-533, 2019.

ESTOPA, RA, MILAGRES, FR, OLIVEIRA, RA, & HEIN, PRG. Modelos espectroscópicos nir para fenotipagem de características da madeira em programas de melhoramento de *Eucalyptus benthamii*. **Cerne**, v. 23 n. 3, p. 367–375, 2017.

FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft**. 2012. 105p. PhD thesis. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2012. BATISTA, D. C.; SILVA, J. G. M.; ANDRADE, W. S. P.; VIDAURRE, G. B. Desempenho operacional de uma serraria de pequeno porte do município de Alegre, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, v. 45, n. 3, p. 487 - 496, 2015.

GOMES, F. J. B., COLODETTE, J. L., BURNET, A., BATALHA, L. A. R., SANTOS, F. A., & DEMUNER, I. F. Thorough characterization of Brazilian new generation of eucalypt clones and grass for pulp production. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, n. 1, p. 814071, 201.

GOMES, J. R. A., GOMES, F. J. B., HEIN, P. R. G., BATALHA, L. A. R., DA SILVA JÚNIOR, N. L., & LELIS, R. C. C. (2025). UTILIZAÇÃO DO NIR PARA PREDIÇÃO DE DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE POLPA KRAFT. **O PAPEL**, 86(2), 68-73.

HANS, GUILLAUME; ALLISON, BRUCE. On-line characterization of wood chip brightness and chemical composition by means of visible and near-infrared spectroscopy. **Holzforschung**, v. 75, n. 11, p. 989-1000, 7 jun. 2021.

HEIN, P. R. G., LIMA, J. T., & CHAIX, G. Otimização de calibrações baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa de propriedades da madeira de *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 615-624, 2009.

IBÁ. Relatório 2024. **Indústria Brasileira de Árvores**. 2024.

LAZZAROTTO, M., MAGALHAES, W. L. E. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus pellita*. **Colombo: Embrapa Florestas (Comunicado técnico, 334)**, 2014.

LENGOWSKI, E. C.; MUÑIZ, G. I. B. de; KLOCK, U.; NISGOSKI, S. Potential use of nir and visible spectroscopy to analyze chemical properties of thermally treated wood. **Ciencia y Tecnología**, v.20, n.4, p. 1-20, 2018.

MARTINS, J. A.; SARGENTELLI, V. INFRAVERMELHO PRÓXIMO NA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA FOLIAR. **Revista Prospectus**, v. 3, n. 1, p. 33-55, ago. 2021.

MEDEIROS, D.T., GOMES BATISTA, F., GHERARDI HEIN, P. R., REIS PRAZERES MASCARENHAS, A., & CHAIX, G. Effect of the sensors on calibrations for wood density in benchtop and portable NIR equipment. **Association HélioSPIR**, 2024.

MESQUITA PIMENTA, E., DOS SANTOS BRITO, E. G., RAMALHO, F. M. G., & HEIN, P. R. G. Validation of models using near-infrared spectroscopy to estimate basic density and chemical composition of *Eucalyptus* wood. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, 17(6), 338, 2024.

NUNES, C. A., FREITAS, M. P., PINHEIRO, A. C. M., BASTOS, S. C. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 11, p. 2003–2010, 2012.

QUEIROZ, S. C. S., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., OLIVEIRA A, R. C. DE., Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake clones. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901- 909, 2004.

RAMALHO, F.M.G., HEIN, P.R.G., ANDRADE, J.M, NAPOLI, A. Potential of near-infrared spectroscopy for distinguishing charcoal produced from planted and native wood for energy purpose. *Energy & Fuels*, v. 31, n 2, p. 1593-1599, 2017.

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 em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

TSUCHIKAWA, S., KOBORI H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**. v. 61, p. 213–220, 2015.

TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A review of recent near-infrared research for wood and paper. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 48, p. 43-71, 2013.

VALVERDE, S. R., SOARES, N. S., & SILVA, M. L. D. Desempenho das exportações brasileiras de celulose. **Revista Árvore**, v. 30, p. 1017-1023, 2006.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CASCA DE DUAS ESPÉCIES DA CAATINGA PIAUIENSE

Maria Elisa Ferreira Ribeiro; Leandra Ribeiro da Silva; Luciana Bezerra Quele; Vinicius Guerra Rocha; Rosalvo Maciel
Guimarães Neto; Marcelo Xisto Ribeiro.

Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Piauí, Brasil.

maria.elisa@ufpi.edu.br

Resumo: Atualmente, é possível observar uma busca por matérias-primas oriundas de fontes renováveis. Nesse sentido, a casca, anteriormente considerada um resíduo pouco valorizado, pode ser considerada como biomassa promissora para geração de energia, necessitando para isso, avaliações minuciosas como as fornecidas pela análise química imediata. Nesse sentido, esta pesquisa foi executada com o intuito de verificar a qualidade da casca de duas espécies encontradas na caatinga piauiense (*Parkia platycephala* e *Hymenaea courbaril*), visando seu potencial para geração de energia. A casca das duas espécies avaliadas apresentou resultados significativos a partir da análise química imediata. *Parkia platycephala* apresentou 15,2% de umidade, 76,2% de materiais voláteis, 0,98% de cinzas e 22,3% de carbono fixo, enquanto *Hymenaea courbaril* apresentou 19,1% de umidade, 75,7% de materiais voláteis, 2,7% de cinzas e 21,6% de carbono fixo. A partir desses resultados é possível sugerir o uso das espécies estudadas para o setor energético, seja para a fabricação de carvão vegetal, biocombustíveis, briquetes e cavacos.

Palavras chave: Carbono fixo; Materiais voláteis; Energia da biomassa.

EVALUATION OF THE QUALITY OF THE BARK OF TWO SPECIES FROM THE PIAUÍ CAATINGA

Abstract: Currently, there is a search for raw materials from renewable sources. In this sense, bark, previously considered a poorly valued waste, can be considered a promising biomass for energy generation, requiring detailed assessments such as those provided by immediate chemical analysis. In this sense, this research was carried out with the aim of verifying the quality of the bark of two species found in the caatinga of Piauí (*Parkia platycephala* and *Hymenaea courbaril*), with a view to its potential for energy generation. The bark of the two species evaluated showed significant results from the immediate chemical analysis. *Parkia platycephala* showed 15.2% moisture, 76.2% volatile materials, 0.98% ash and 22.3% fixed carbon, while *Hymenaea courbaril* showed 19.1% moisture, 75.7% volatile materials, 2.7% ash and 21.6% fixed carbon. These results suggest that these species could be used for energy purpose.

Keywords: Fixed carbon; Volatile materials; Biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga, é um bioma brasileiro, qual é abrigo para uma rica diversidade florística com grande potencial de uso, especialmente o componente lenhoso, que pode ser usado como matéria prima em diferentes setores industriais gerando renda e movimentando a economia local, esse se caracteriza por apresentar uma grande diversidade de paisagens. Quando chove, a paisagem muda rapidamente, as plantas renascem e cobre-se de folhas dando novamente um aspecto verde à

vegetação, assim, o que antes parecia morto e feio cobre-se de vida e beleza (ALVES et al., 2009). A vegetação da caatinga apresenta grande variação fisionômica, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas, sua cobertura vegetal é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisionomia das condições climáticas, que se destaca em sua maioria de uma formação vegetal de caatinga arbustiva, densa ou aberta, e conforme Alves, (2009), acaba perdendo folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso.

A madeira, é um recurso natural renovável, e demonstra grande utilidade em diversas áreas, servindo de base para construção, criação de móveis, produção de instrumentos musicais como alaúdes, e na elaboração de painéis de madeira, dentre muitos outros usos. Sua adaptabilidade surge da sua estrutura complexa, qualidades físicas e mecânicas, e composição química, em termos orgânicos, a madeira é formada principalmente por três grandes moléculas que constituem a parede celular: celulose, hemicelulose e lignina (ROWELL, 2005; FENGEL, 1989).

A composição química da madeira, principalmente a presença e o tipo de extrativos, afeta bastante as características sensoriais, como a cor, que é um fator chave na venda. A quantidade e o tipo de extrativos variam muito entre as espécies e gêneros, mostrando a importância de estudar esses componentes na avaliação e uso da madeira. Além desses elementos estruturais, a madeira também contém componentes de menor massa molecular, chamados extrativos, e uma parte mineral representada pelas cinzas (ROWELL, 2005).

Essa abordagem, conhecida como análise química imediata da madeira, é conduzida por meio de métodos laboratoriais padronizados, incluindo extrações com solventes orgânicos, hidrólise ácida e incineração em mufla para determinação do teor de cinzas (SANTOS, 2009; WELTER et al., 2024). A compreensão dos teores e da variabilidade dos constituintes químicos da madeira (como celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas) é fundamental não apenas para sua caracterização tecnológica, mas também para a otimização de processos industriais e para o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado (CARDOSO, 2021; SANTOS et al., 2021). A composição química pode variar significativamente entre diferentes espécies, condições de crescimento e até mesmo entre diferentes porções de uma mesma árvore, o que reforça a importância dessa análise como ferramenta estratégica na cadeia produtiva florestal (WELTER et al., 2024; CARDOSO, 2021).

A análise química imediata da biomassa vegetal, especialmente da madeira e da casca das árvores, é fundamental para avaliar seu potencial energético, sendo amplamente utilizada na caracterização de materiais destinados à geração de energia. Os principais parâmetros avaliados incluem a umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, os quais influenciam diretamente a eficiência da combustão e o poder calorífico do material (FERRARI et al., 2018; SILVA et al., 2022). Os materiais voláteis correspondem à fração que se volatiliza durante o aquecimento, participando da queima no estado gasoso, o que, embora proporcione combustão rápida e de alta reatividade, também pode elevar a emissão de gases (FERRARI et al., 2018). O carbono fixo, por sua vez, é responsável pela combustão mais lenta e estável da biomassa no estado sólido, sendo o principal contribuinte para uma geração de calor prolongada e eficiente, o que caracteriza um combustível de maior qualidade (SILVA et al., 2022). O teor de cinzas representa o resíduo inorgânico remanescente após a combustão, e valores elevados são indesejáveis, pois promovem incrustações nos equipamentos e comprometem o rendimento térmico do processo (SANTOS, 2009). Quanto à umidade, esta atua negativamente no poder calorífico da biomassa, já que parte da energia disponível é consumida na evaporação da água presente no material, reduzindo a eficiência do sistema energético (FERRARI et al., 2018). A correta determinação desses parâmetros é indispensável para o aproveitamento

energético eficiente da biomassa, além de possibilitar a comparação entre espécies e condições de manejo.

Diante do exposto, este trabalho foi executado a fim de verificar a qualidade da casca de duas espécies da caatinga piauiense com base na análise química imediata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado na pesquisa coletado na região de Bom Jesus, PI e consistiu da casca de duas espécies: *Parkia platycephala* e *Hymenaea courbaril*. Na Universidade Federal do Piauí, no Campus Professora Cinobelina Elvas, localizado no município de Bom Jesus, Piauí, nas coordenadas geográficas 09°04'28''S e 44°21'31''W, qual tem um clima tropical semiárido, marcado por uma estação seca, com estiagem prolongada, e uma estação chuvosa curta, apesar de ocorrência de precipitações concentradas em alguns meses do ano, e o tipo predominante de solo sendo o latossolo amarelo. Foram coletadas amostras da casca, em diferentes posições ao longo do fuste e posteriormente o material foi levado para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do CPCE/UFPI, porém a localização exata da árvore matriz não é conhecida, dada que o material foi doado por um aluno ao laboratório. A partir da amostra obtida foi determinada a análise química imediata, sendo realizada três amostras para cada espécie para os teores de materiais voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e umidade, conforme determina a norma ASTM-D1762-84-2021, com adaptações em função da estrutura e equipamentos existentes no laboratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra o resultado da análise química imediata das cascas.

Tabela 1. Teores da análise química para Jatoba e a Fava de Bolota.

Espécies	Análise Química Imediata			
	Umidade	Cinzas	Materiais Voláteis	Carbono Fixo
<i>Hymenaea courbaril</i>	19,05%	2,666	75,749	21,585
<i>Parkia platycephala</i>	15,12%	0,982	76,195	22,824

Fonte: Autores.

Os teores de umidade para as duas espécies foram próximos (19,05% para *Hymenaea courbaril* e 15,12% para *Parkia platycephala*). Esse resultado era esperado uma vez que as duas espécies são da mesma família botânica (Fabaceae) e a diferença nos teores encontrados nessa pesquisa, se devem, possivelmente, à constituição química e idade dos indivíduos analisados. Viana et al. (2017) afirma que a umidade para cascas de árvores é inferiores a 20%. O mesmo autor encontrou 11% de umidade estudando a gaseificação da casca do jatobá-do-cerrado. Vale ressaltar que, para fins energéticos são esperados valores de umidades mais baixos para não prejudicar a queima da biomassa e consequentemente, a geração de energia.

O teor de materiais voláteis na madeira refere-se à fração da madeira que evapora ou se destila quando aquecida. Geralmente, a madeira contém uma quantidade significativa de materiais voláteis, variando entre 75% e 85% em relação ao seu peso seco, conforme mencionado por Brand (2015). Nesta pesquisa, foram encontrados 75,74% para *Hymenaea courbaril* e 76,19% para *Parkia platycephala*.

O teor de cinzas refere-se aos resíduos inorgânicos que permanecem após a combustão, podendo afetar a eficiência do processo e a necessidade de manutenção. Baixos valores de cinzas na biomassa para energia são desejáveis, pois a cinza representa resíduos não combustíveis que diminuem a eficiência da queima e a quantidade de energia produzida (TAVARES et al. 2013). Uma biomassa com baixo teor de cinzas permite uma maior geração de energia por unidade de matéria-prima. Foram encontrados 2,67% para *Hymenaea courbaril* e 0,98% para *Parkia platycephala*.

O teor de carbono fixo indica a quantidade de carbono que permanece após a queima da biomassa, influenciando a eficiência do processo. Altos teores estão diretamente relacionados ao poder calorífico, podendo indicar mais calor produzido na combustão da biomassa. Nesta pesquisa foram encontrados 21,56% para *Hymenaea courbaril* e 22,82% para *Parkia platycephala*.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados da análise química imediata das cascas de *Hymenaea courbaril* e *Parkia platycephala* se mostraram promissores para uso energético, no entanto análises de outros parâmetros como análise química elementar, poder calorífico e densidade energética precisam ser determinados para uma indicação mais precisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A. Caatinga do Cariri Paraibano. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 19–25, 2009. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v17i1.80>. Acesso em: 16 maio 2025.
- BRAND, M. A., RODRIGUES, A. A., OLIVEIRA, A., MACHADO, M. S., ZEN, L.R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região Serrana Sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1165–1173, nov./dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000600020>. Acesso em: 16 maio 2025
- CARDOSO, L. P. **Caracterização físico-química e avaliação da madeira de *Quercus pyrenaica* Brotero**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/bitstreams/36b88c16-0e74-40c8-b367-98f768036889/download>. Acesso em: 16 maio 2025.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure and reactions**. 1. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.
- FERREIRA, S. O. P. M.; FERREIRA JÚNIOR, J. A. M.; BRAZ, R. L. Caracterização energética de biomassas agrícolas e florestais no estado de Pernambuco. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 34, n. 3, e73324, p. 1-23, 2024. DOI 10.5902/1980509873324. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509873324>.
- ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 1. ed. Madison: CRC Press, 2005.
- SANTOS, E. V.; PATRÍCIO, E. P. S.; SOUSA, E. M.; JÚNIOR, U. O. B.; GONÇALVES, D. A.; PROTÁSIO, T. P. Composição química imediata da madeira de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos e tipos de fuste. In: INTEGRA UFRA, 4., 2021, Online. Anais [...]. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2021. In: CONGRESSO ACADÊMICO DA UFRA, 2021, Belém. **Anais [...]**. Belém: UFRA, 2021. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/integra-ufra-2021/trabalho/204509>. Acesso em: 16 maio 2025.

SANTOS, J. A. M. A influência da preparação da amostra na análise da composição química da madeira. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/1091>. Acesso em: 16 maio 2025.

SILVA, A. C. F.; FREIRE, F. J., BORGES, C. H. A.; ARAÚJO, E. C. G.; SANTANA, G. M.; CUNHA NETO, E. M.; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono em espécies florestais da Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 71–85, jan./mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509842456>. Acesso em: 16 maio 2025.

WELTER, C. A.; ROSO, M. S.; SCHMITT, E.; SILVA, D. M.; WACHT, W. L.; MARTINS, V. M.; RATZLAFF, F. R.; FARIAS, D. T.; COLDEBELLA, R.; SILVA, G. T.; PEDRAZZI, C. Propriedades físico-químicas da madeira de *Paulownia tomentosa* Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 4, e85562, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509885562>. Acesso em: 16 maio 2025.

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DE CASTANHEIRAS (*Bertholletia excelsa* Bonpl) ANCESTRAIS DA FLORESTA NACIONAL DE TEFÉ

Camila Juliana Sampaio Pereira^{1*}; Ariane Mateus de Souza¹; Thamires Gomes Galdino²; Larissa Lorena França Mota²; João Gilberto Meza Ucella Filho¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Leonardo Pequeno Reis²; Pamella Carolline Marques dos Reis Reis²

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

*Autor correspondente (e-mail): camila.s.pereira@ufv.br

Resumo: A *Bertholletia excelsa* H.B.K., única espécie do gênero e pertencente à família *Lecythidaceae*, é uma árvore nativa valiosa da floresta amazônica de terra firme. Este estudo teve como objetivo caracterizar as propriedades anatômicas macroscópicas de castanheiras ancestrais no médio Solimões, utilizando corpos de prova obtidos por método não destrutivo com trado de incremento. As madeiras utilizadas para a caracterização anatômica foram coletadas na Floresta Nacional de Tefé, localizada as margens do Rio Tefé, Tefé, Amazonas. As amostras, preparadas com lixas para melhor visualização, foram analisadas com lupa de 10x, considerando também propriedades organolépticas. A madeira apresentou cor marrom-claro, textura fina, ausência de brilho intenso, gosto e cheiro imperceptíveis e facilidade de corte manual. No plano transversal, observou-se parênquima apotraqueal em faixas reticuladas, vasos solitários e porosidade difusa. No plano tangencial, os raios foram visíveis e estratificados, e no radial, não contrastados. Concluiu-se que a madeira da *B. excelsa* é de fácil caracterização macroscópica, com elementos anatômicos bem definidos nos três planos.

Palavras-chave: Castanheira; Anatomia da Madeira; Madeiras Ancestrais.

MACROSCOPIC CHARACTERIZATION OF ANCESTRAL BRAZIL NUT TREES FROM THE TEFÉ NATIONAL FOREST.

Abstract: *Bertholletia excelsa* H.B.K., the sole species of its genus and a member of the *Lecythidaceae* family, is a valuable native tree of the non-flooded (terra firme) Amazon rainforest. This study aimed to characterize the macroscopic anatomical properties of ancestral Brazil nut trees in the middle Solimões region, using increment borer samples obtained through a non-destructive method. Wood specimens for anatomical characterization were collected from the Tefé National Forest, located along the Tefé River, in Tefé, Amazonas. The samples were prepared with sandpaper to enhance visibility and analyzed under a 10× hand lens, also considering organoleptic properties. The wood exhibited a light brown color, fine texture, lack of prominent luster, and imperceptible taste and odor, along with ease of manual cutting. In the transverse plane, apotracheal parenchyma appeared in reticulate bands, with solitary vessels and diffuse porosity. In the tangential plane, rays were visible and stratified, while in the radial plane, rays were non-contrasting. It was concluded that the wood of *B. excelsa* presents clearly defined anatomical features across all three planes, allowing for straightforward macroscopic identification.

Keywords: Brazil Nut Tree; Wood Anatomy; Ancestral Timbers.

1. INTRODUÇÃO

A principal atividade do setor de base florestal é a produção da madeira, a qual é utilizada em vários setores da economia, com finalidade moveleira, produção de celulose e papel, construção civil, produção de energia, entre outros (Mesquita *et al.*, 2017). Reconhecer a importância da caracterização de madeiras no Brasil é de suma importância, isto porque estima-se que a cobertura vegetal de todo território brasileira está em torno de 58,5%. Essa composição é dividida por 2% áreas plantadas e 98% por áreas de florestas naturais (SFB, 2019).

O bioma amazônico é um grande integrante dessa composição; e dentro deste bioma a *Bertholletia excelsa* H.B.K., é conhecida popularmente por vários nomes, como, amendoeira-da-américa, castanha, castanha-do-brasil, castanha-do-maranhão, castanha-do-pará, castanha-verdadeira, castanheira-rosa, castanheiro, noz-do-brasil. Esta espécie foi originalmente descrita em 1807 por Humbolt e Bonpland. No entanto, foi Poiteau em 1825, o primeiro a dar a *lecythidaceae* o status de família, removendo os gêneros *Bertholletia*, *Couratari*, *Couroupita* e *Gustavia* da família *Myrtaceae* onde eram tradicionalmente classificados (MORI; PRANCE, 1990). A *B. excelsa* pertence à família *Lecythidaceae* e é uma das espécies nativas mais valiosas da floresta amazônica de terra firme. O gênero *Bertholletia* constitui-se de apenas uma espécie *B. excelsa*, apesar de haver variações no tamanho e forma do fruto, número de sementes por ouriço, não se justifica o reconhecimento de mais de uma espécie (MORI, 1992).

Esta espécie, assim como outras nativas do bioma amazônico, tem um bom desenvolvimento em regiões de clima quente e úmido, como afirma Muller et al (1995), as maiores densidades ocorrem em regiões onde predominam os tipos climáticos tropicais chuvosos com a ocorrência de períodos de estiagem definidos. Prefere solos argilosos ou argilo-arenosos de textura média a pesada, e se estabelece melhor em locais mais secos em mata de terra firme não inundável (ARAÚJO et al., 2001). O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades anatômicas macroscópicas de Castanheiras ancestrais de uma floresta de terra firme no médio Solimões, propósito que foi alcançado a partir da caracterização das propriedades organolépticas de *Bertholletia excelsa* H.B.K.; caracterização macroscopicamente a madeira de *Bertholletia excelsa* H.B.K.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta de dados

As madeiras utilizadas para a caracterização anatômica foram coletadas na Floresta Nacional de Tefé, localizada as margens do Rio Tefé, Tefé, Amazonas. A Floresta Nacional de Tefé (FLONA de Tefé), localiza-se especificamente na Comunidade Bom Jesus da Ponta da Castanha (3° 31' 28,53" S, 64° 58' 17,90" W), nas proximidades do Rio Tefé, na cidade de Alvarães, AM. O solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo é bem representativo na FLONA de Tefé (IBGE, 2010) e a classificação da tipologia florestal é a Floresta Ombrófila Densa de Terra-Firme (Veloso et al., 1991). O clima da região é classificado como Af, tropical chuvoso, de acordo com o sistema de Köppen (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 2.529 mm (ANA, 2020) e temperatura média anual de 27,8°C (IDSM, 2020).

2.2. Caracterização macroscópica

Os corpos de prova possuíam dimensões de aproximadamente 30 cm de comprimento, nos quais foi possível identificar os planos transversais e longitudinais, e sua largura corresponde a cerca

de 1,0 cm, onde se apresenta o plano radial. As amostras foram obtidas a partir de um método não destrutivo (Figura 1), no qual se utiliza um trado de incremento.

Este material foi submetido a um aplainamento no plano transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, com o auxílio de lixas, para melhor visualização e interpretação das estruturas anatômicas da madeira será utilizada uma lupa conta-fios de 10x de aumento. Nesta fase, além da análise macroscópica, foram caracterizadas as propriedades organolépticas como: cor, textura, grã, desenho, dureza etc.

A descrição das estruturas anatômicas macroscópicas da madeira seguiu de acordo com as normas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis/IBAMA (1992). O estudo foi conduzido no Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira (LANTOM). O registro digital fotográfico da macroscópica foi realizado na superfície transversal das amostras de madeira, com uma lupa acoplada a uma câmera digital.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

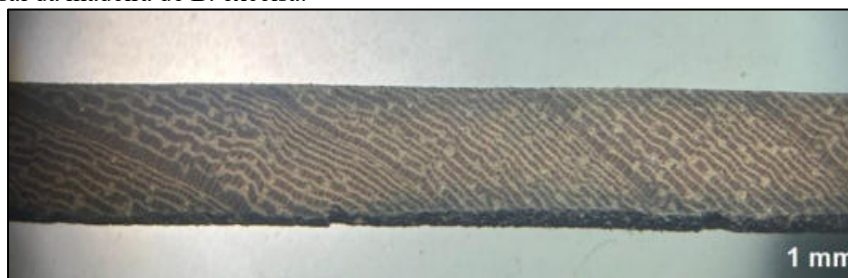
3.1. Propriedades Organolépticas

A partir das análises em laboratórios, a madeira da espécie *B. excelsa* apresentaram uma cor marrom-claro, camadas de crescimento distintas e não apresentaram brilho intenso; o odor e o cheiro se mantiveram imperceptíveis. As amostras caracterizadas apresentaram-se macias ao corte manual nas seções transversal, tangencial e radial e textura fina. LATORRACA *et al* (2018) descreveu resultados semelhantes ao caracterizar *B. excelsa* com cerne e alburno distintos pela cor, cerne bege-claro rosado, odor não característico, gosto indistinto, textura média a grossa, grã direita, brilho não contrastado. Propriedades análogas foram percebidas por FLORSHEIM *et al* (2020) e LOCATELLI *et al* (2005) o qual evidencia as características da madeira da *B. excelsa* com camadas de crescimento distintas, coloração castanho-claro a rosada; odor e sabor ausente; grã regular, sem brilho; possível ausência de desenho e textura média, com cerne castanho-róseo, um tanto diferenciado do alburno castanho-amarelado; grã irregular para regular; textura média, cheiro e gosto indistintos.

3.2. Caracterização Macroscópica

A espécie *B. Excelsa* apresentaram no plano transversal (Figura 2) o parênquima visível a olho nu, com disposição apotraqueal reticulado, vasos predominantemente solitários, porosidade difusa, os raios foram determinados como médios quanto a sua largura.

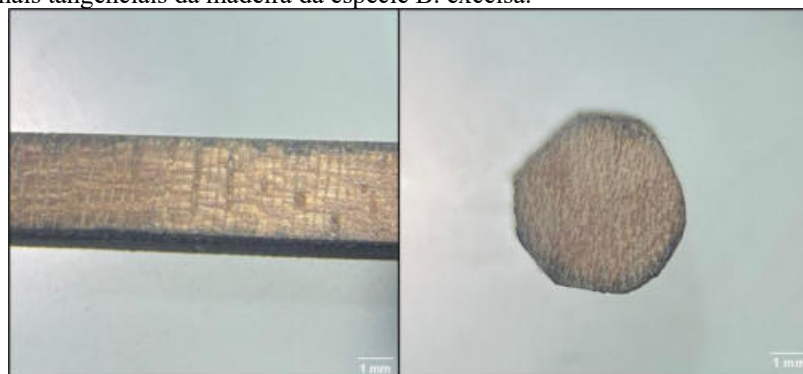
Figura 1. Corte transversal da madeira de *B. excelsa*.



No plano longitudinal tangencial os raios foram visualizados a olho nu, e apresentam estratificação; enquanto no plano longitudinal radial os raios apresentaram-se de forma não

contrastada, é possível visualizar as características descritas na Figura 3. Segunda FLORSHEIM *et al* (2020) esta espécie tem parênquima axial visível a olho nu, contrastado, reticulado e apresentando sinuosidade; os vasos, em mais de 50% dos casos, se apresentaram visíveis a olho nu e grandes; os vasos descrevem também uma porosidade difusa e poros solitários obstruídos por tilos.

Figura 2. Cortes longitudinais tangenciais da madeira da espécie *B. excelsa*.



LATORRACA *et al* (2018), também descreveu a espécie *B. excelsa* macroscopicamente, determinando seu parênquima como axial visível sem auxílio de lente 10x, em faixas regularmente espaçadas (reticulado); os raios visíveis sem auxílio de lente 10x nos planos transversal e longitudinal tangencial, pouco contrastados no plano longitudinal radial, finos, poucos a numerosos, não estratificados; os poros visíveis sem auxílio de lente 10x, grandes, poucos, porosidade difusa, predominantemente solitários e múltiplos radiais (2 a 5 vasos), obstruídos por tiloses e a camada de crescimento demarcadas por zonas fibrosas devido ao afastamento das linhas de parênquima axial.

4. CONCLUSÃO

As amostras de *B. excelsa* apresentaram uma cor marrom-claro, camadas de crescimento distintas e não apresentaram brilho intenso; o odor e o cheiro se mantiveram imperceptíveis. As amostras caracterizadas apresentaram-se macias ao corte manual nas seções transversal, tangencial e radial e textura fina. A espécie *B. Excelsa* apresenta no plano transversal o parênquima visível a olho nu, com disposição apotraqueal em faixas, vasos predominantemente solitários, porosidade difusa, os raios foram determinados como médios quanto a sua largura e camadas de pouco distintas. No plano longitudinal tangencial os raios são visualizados a olho nu, e apresentam estratificação; enquanto no plano longitudinal radial os raios apresentaram-se de forma não contrastada.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M.M; OSAQUI, H; MELO, R.S. **Padrão de distribuição espacial de castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K), barragem do contado, Floresta Nacional de Carajás, Pará. 2001.**

FLORSHEIM, S. M. B. **Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Florestal, 2020.**

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estado do Amazonas. Pedologia. Mapa Exploratório de Solos. 1º Edição. 2010. Disponível em:** <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acessado em: 2020.

IDS.M. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. **Monitoramento de Dados de Clima na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.** Disponível em: <<https://mamiraua.org.br/pt-br/pesquisa-e-monitoramento/monitoramento/monitoramento-de-dados-de-clima-na-reserva-de-desenvolvimento-sustentavel-mamiraua/>>. Acessado em: 10/02/2020.

LATORRACA, J. V. F.; CASTRO, J. P.; SANTOS, G. C. V. **Guia para identificação macroscópica de madeira.** 1 edição. Serropédica. Editora do autor. coloca o n° de páginas. 2018.

LOCATELLI, M.; VIEIRA, A. H; MARTINS, E. P.; SOUZA, V. F.; MACEDO, R. S. Crescimento em diâmetro de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) cultivada em solo de baixa fertilidade*. 2008. Porto Velho, RO. Embrapa.

MORI, S. A. 1992. The Brazil nut industry – past, present, and future. Pp. 241–251 in Plotkin, M. & Famolare, L. (eds). Sustainable harvest and marketing of rain forest products. Island Press, Washington, D.C.

MORI. S.A. &. PRANCE. G. T. Flora NeotropIca: Lecythidaceae – Part II. New York: Botanical Garden. 125 p. (monograph. 21). 1990.

MULLER, C.H.; FIGUEIREDO, F.J.C.; CARVALHO, J.E.U. **Características Comparativas 105 Entre Frutos e Sementes de Castanheira-do-brasil.** Belém: EMBRAPA-CPATU,1995

SFB - Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo: 2019.** Brasília: MAPA/SFB, 2019. 210 p.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação**

POTENCIAL DO MICROSECOND TIMER NA PREDIÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus spp.*

Henzza Ferreira Rocha^{1*}; Náthali dos Santos Alves¹; Nathalia Gabriele Franca Dias¹; Rejane Costa Alves¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): henzzaferreirarochoa@gmail.com

Resumo: O *Eucalyptus spp.* destaca-se no setor florestal brasileiro por sua notável capacidade de adaptação, crescimento acelerado e propriedades físico-mecânicas consistentes, o que favorece sua utilização em diversas finalidades industriais. A caracterização mecânica da madeira é essencial para garantir seu uso seguro e eficiente, e, nesse cenário, os métodos não destrutivos vêm se consolidando como alternativas promissoras. Este estudo teve como objetivo avaliar a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}), obtido por meio de ensaio não destrutivo com o equipamento Fakopp Microsecond Timer, e o módulo de elasticidade estático (MOE), determinado por ensaio destrutivo de flexão em corpos de prova de *Eucalyptus spp.* Os testes foram realizados no Laboratório de Experimentação e Múltiplos Usos da Madeira, utilizando o Microsecond timer, que mede o tempo de propagação de ondas de tensão entre duas sondas posicionadas ao longo das fibras da madeira. A velocidade de propagação foi utilizada, juntamente com a densidade da amostra, para o cálculo do E_{din} . Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à flexão estática. A análise estatística demonstrou um coeficiente de determinação de 83,6%, evidenciando forte relação entre os métodos. Os resultados indicam que o uso do Microsecond timer é uma ferramenta eficaz, precisa e não invasiva para a estimativa das propriedades mecânicas da madeira, configurando-se como uma alternativa viável aos ensaios destrutivos tradicionais.

Palavras chave: Ensaios não destrutivos; Propagação de ondas; Velocidade sonora; Caracterização física; Regressão linear.

EVALUATING THE POTENTIAL OF THE MICROSECOND TIMER FOR PREDICTING MECHANICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus spp.* WOOD

Abstract: The *Eucalyptus spp.* genus stands out in the Brazilian forestry sector due to its remarkable adaptability, rapid growth, and consistent physical-mechanical properties, which favor its use in a wide range of industrial applications. The mechanical characterization of wood is essential to ensure its safe and efficient utilization, and in this context, non-destructive methods have emerged as promising alternatives. This study aimed to evaluate the relationship between the dynamic modulus of elasticity (E_{din}), obtained through non-destructive testing using the Fakopp Microsecond Timer, and the static modulus of elasticity (MOE), determined by destructive flexural testing on *Eucalyptus spp.* specimens. The tests were conducted at the Wood Experimentation and Multipurpose Laboratory using the Microsecond Timer, which measures the propagation time of stress waves between two probes positioned along the wood fibers. The propagation speed, combined with the sample's density, was used to calculate E_{din} . Subsequently, the specimens were subjected to static bending. Statistical analysis showed a coefficient of determination of 83.6%, indicating a strong relationship between the methods. The results suggest that the Microsecond Timer is an effective, accurate, and non-invasive tool for estimating the mechanical properties of wood, presenting itself as a viable alternative to traditional destructive testing methods.

Keywords: Nondestructive testing; Wave propagation; Sound velocity; Physical characterization; Linear regression.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de *Eucalyptus* spp. possui grande importância industrial, sendo amplamente utilizada na produção de celulose e papel, painéis, carvão vegetal, postes, dormentes e elementos estruturais na construção civil (IBÁ, 2024; MICHEL, 2024). Essa ampla gama de aplicações exige que o material apresente propriedades físico-mecânicas adequadas às exigências específicas de cada setor. Nesse contexto, avaliar características como resistência, rigidez e elasticidade torna-se essencial para garantir a eficiência e a segurança no uso final da madeira (SOUZA *et al.*, 2022). A caracterização mecânica, portanto, assume papel estratégico em processos de controle de qualidade, seleção de material e otimização do aproveitamento florestal.

Nesse cenário, os métodos de avaliação não destrutiva têm se mostrado fundamentais para a indústria madeireira contemporânea, ao permitirem análises rápidas e confiáveis das propriedades mecânicas da madeira sem comprometer sua integridade estrutural (CARRASCO *et al.*, 2018). Com os avanços tecnológicos, essas técnicas vêm sendo cada vez mais incorporadas ao setor florestal, por possibilitarem a detecção de defeitos internos e a caracterização da madeira sem alterar suas propriedades físicas ou comprometer sua utilização posterior (MARTINS, 2019).

Entre os instrumentos utilizados nesse tipo de avaliação, destaca-se o Microsecond Timer, que mensura a velocidade de propagação de ondas sonoras longitudinais ao longo das fibras da madeira. A técnica consiste em aplicar um impacto manual com martelo em uma sonda de partida, fixada na superfície externa do corpo de prova, enquanto uma segunda sonda registra a chegada da onda em um ponto distante (WANG *et al.*, 2000; KNOWLES *et al.*, 2004; WU *et al.*, 2010, 2011). Por ser uma metodologia rápida, de fácil aplicação e que não compromete o material testado, ela se configura como uma alternativa eficiente para estimar propriedades mecânicas da madeira de forma prática e econômica (CARVALHO *et al.*, 2023).

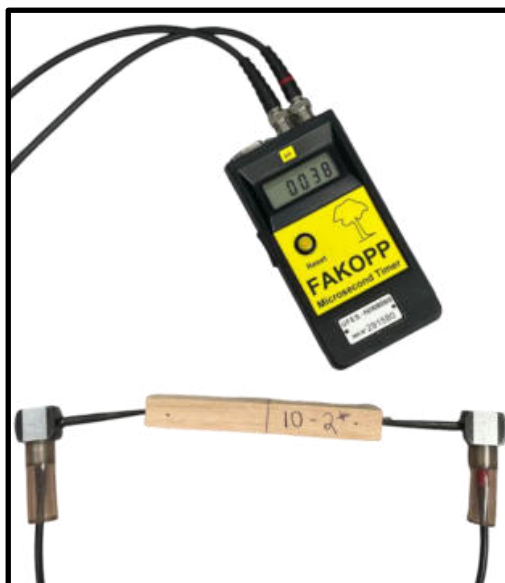
Considerando esse panorama, é pertinente investigar a aplicação de métodos não destrutivos no aprimoramento da caracterização mecânica de espécies comerciais. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico, obtido por meio do ensaio não destrutivo com o Microsecond Timer, e o módulo de elasticidade estático, determinado a partir do ensaio destrutivo de flexão estática em madeira de *Eucalyptus* spp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Experimentação e Múltiplos Usos da Madeira (LEMUM), pertencente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES. Foram confeccionadas 15 amostras de madeira de *Eucalyptus* spp., com duas repetições por amostra, totalizando 30 corpos de prova, sendo cada uma proveniente de uma árvore distinta. As amostras, com dimensões de 2 x 2 x 15 cm, foram retiradas de pranchas obtidas a partir de toretes previamente seccionados. Para os ensaios de propagação de ondas sonoras, foi utilizado o equipamento Microsecond Timer da marca Fakopp, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma American Society for Testing and Materials – ASTM D4761:2013.

A avaliação baseou-se na medição do tempo de deslocamento de uma onda sonora entre dois sensores. Para isso, foram utilizadas duas sondas metálicas (uma de emissão e outra de recepção), posicionadas nas extremidades opostas da amostra, ao longo do sentido das fibras da madeira (Figura 1).

Figura 1: Ensaio não destrutivo com o Microsecond Timer.



A sonda de início é acionada por um leve impacto com um martelo manual, gerando uma onda de tensão (stress wave) que se propaga pela estrutura da madeira até ser captada pela sonda de parada. O equipamento, conectado às sondas por cabos, registra automaticamente o tempo de propagação da onda em microssegundos. Em cada corpo de prova foram feitas três leituras, sendo considerada a média aritmética dos valores registrados. O tempo médio, convertido para segundos, foi utilizado juntamente com a distância entre as sondas, convertida para metros, para o cálculo da velocidade de propagação da onda sonora, conforme a Equação 1:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Onde: V= velocidade da onda (m/s); L= distância entre as sondas (m); t = tempo de propagação da onda (s).

Com base na velocidade de propagação das ondas sonoras na madeira, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}) utilizando a Equação 2:

$$E_{din} = \rho \cdot V^2 \quad (2)$$

Onde: E_{din} = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa); V = Velocidade de propagação da onda (m/s); ρ = Densidade do material (kgm^{-3}).

A densidade aparente foi determinada conforme os procedimentos descritos na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 7190:2022, considerando a razão entre a massa e o volume da amostra em condições ambientais de equilíbrio.

Após a realização do ensaio não destrutivo, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão estática até o ponto de ruptura, conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 7190 (2022), com a intenção de obter os valores do módulo de elasticidade estático (MOE).

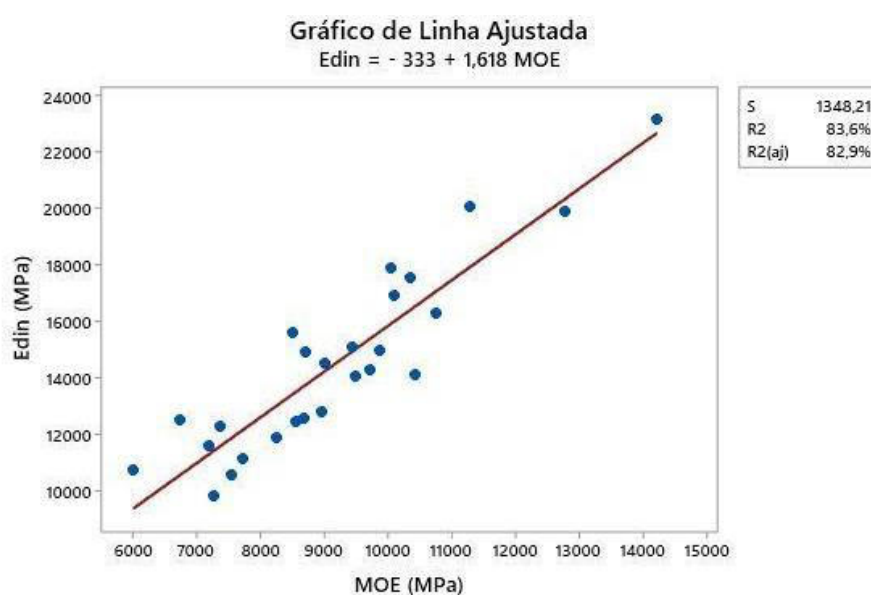
Posteriormente, os resultados obtidos foram organizados e submetidos a análises estatísticas, com foco na avaliação da relação entre a velocidade de propagação das ondas sonoras e as características mecânicas da madeira. Para verificar a significância estatística dessas correlações,

foram conduzidas análises de regressão linear individualizadas para cada método de avaliação utilizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados revelou uma forte relação entre o módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}), e o módulo de elasticidade estático (MOE). Os resultados estatísticos indicaram um coeficiente de determinação (R^2) de 83,6% e um R^2 ajustado (R^2_{aj}) de 82,9%, demonstrando um bom ajuste entre os métodos avaliados. Mais de 80% das variações ocorridas em E_{din} são explicadas pelo MOE. (Figura 2).

Figura 2: Regressão linear simples entre o MOE e o E_{din} .



A equação de regressão linear simples, o coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão da estimativa (S) estão indicados no gráfico.

Estudos anteriores demonstram a eficácia do uso do Fakopp Microsecond Timer na predição de propriedades mecânicas da madeira. Nguyen *et al.* (2021) realizaram medições em árvores em pé, toras e corpos de prova de diferentes clones de *Eucalyptus* e obtiveram coeficientes de determinação variando entre 0,76 e 0,85. Esses valores são comparáveis aos obtidos no presente estudo ($R^2 = 0,836$), o que reforça a confiabilidade do equipamento como ferramenta não destrutiva para estimativas do módulo de elasticidade.

A técnica de propagação de ondas de tensão apresenta como vantagem a sua sensibilidade às variações nas propriedades da madeira, o que a torna especialmente eficiente em análises envolvendo diferentes espécies ou clones (Del Menezzi *et al.*, 2010). Essa característica pode ter contribuído para os bons resultados observados neste trabalho, dado que os corpos de prova foram provenientes de diferentes árvores de *Eucalyptus spp.*

Além disso, os resultados obtidos estão em consonância com outros estudos que destacam a eficácia de métodos não destrutivos como o ultrassom e vibração transversal na avaliação do módulo de elasticidade da madeira (Candian e Sales, 2009).

Adicionalmente, Alves *et al.* (2013) e Miranda *et al.* (2020) reforçam que métodos não destrutivos representam soluções técnicas consistentes para a caracterização mecânica de materiais

lignocelulósicos, principalmente quando se busca rapidez e precisão sem comprometer o uso futuro das amostras.

4. CONCLUSÃO

A relação observada entre o módulo de elasticidade dinâmica e o módulo de elasticidade estático, com coeficiente de determinação de 83,6%, comprova sua aplicabilidade como alternativa aos ensaios destrutivos. Essa abordagem se mostra vantajosa por ser rápida, econômica e por preservar a integridade das amostras, sendo especialmente útil em programas de manejo e melhoramento genético florestal.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C. Application of the nondestructive method of drill resistance for determination of the strength of Brazilian tropical woods. *International Journal of Engineering & Technology Sciences*, v. 13, n. 4, p. 69–73, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. *Estudo setorial da ABIMCI 2016: ano base 2015*. Curitiba, 2016. 127 p.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. *Ambiente Construído*, v. 9, n. 4, p. 83–98, 2009.

CARRASCO, E. V. M. et al. Avaliação das características mecânicas da madeira por meio de excitação por impulso. *Matéria*, v. 22, n. 1, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. *Relatório anual 2024*. São Paulo: IBÁ, 2024. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.

KNOWLES, L. R. et al. Evaluation of non-destructive methods for assessing stiffness of Douglas fir trees. *NZ Journal of Forest Science*, v. 34, n. 1, p. 87–101, 2004.

MARTINS, Ingrid Zacharias. *Dureza Janka de madeiras folhosas estimada por esclerometria*. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

MOREIRA NETO, Marlon Michel Antônio. *Avaliação do uso de resistógrafo para detecção não destrutiva da murcha-de-Ceratocystis em árvores de eucalipto*. 2022. 38 f. Dissertação (Mestrado em Defesa Sanitária Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

MIRANDA, E. H. N. et al. Utilização da técnica de velocimetria por imagens de partículas (PIV) para o estudo do módulo de elasticidade de painéis de madeira compensada. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 24766–24772, 2020.

SOUZA, C. G. F. et al. Avaliação dos módulos de elasticidade por meio de ensaios não destrutivos para madeira laminada colada. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 6, p. 47288–47298, 2022.

TELES, R. F. et al. Effect of nondestructive testing of laminations on the bending properties of glulam beams made from louro-vermelho (*Sextonia rubra*). *Cerne*, v. 16, n. 1, p. 77–85, 2010.

WANG, X. et al. Strength and stiffness assessment of standing trees using a nondestructive stress wave technique. *Research Paper FPL-RP-585*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, 2000. 197 p.

WU, S. et al. Estimation of basic density and modulus of elasticity of eucalypt clones in southern China using nondestructive methods. *Journal of Tropical Forest Science*, v. 23, n. 1, p. 51–56, 2011.

APLICAÇÃO OPERACIONAL DA ESPECTROSCOPIA NIR NA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

Laise Vergara Nörnberg^{1*}; Nathalia Farias Gomes²; Osmarino Pires dos Santos³; Franco Freitas Quevedo³; André Luiz Missio¹; Gabriel Valim Cardoso⁴

¹ Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Brasil; ²Laboratório de Qualidade da Madeira, Mensura Florestal, Brasil; ³Pesquisa e Desenvolvimento, CMPC Celulose Riograndense, Brasil;

⁴Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): laisenornberg@gmail.com

Resumo: A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) tem se consolidado como uma ferramenta promissora para a caracterização não destrutiva da madeira. Este estudo teve como objetivo validar modelos NIRS de predição da química da madeira de *Eucalyptus*, visando sua aplicação operacional. Para isso, os modelos foram calibrados com dados de 312 plantios operacionais e validados em 75 áreas comerciais de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*. Os resultados indicaram alto desempenho preditivo dos modelos para lignina e cinzas, evidenciado por elevados coeficientes de correlação e baixos erros de predição. Por outro lado, o modelo para extrativos apresentou menor acurácia, possivelmente devido à concentração limitada dos valores de calibração. Conclui-se que a NIRS é uma ferramenta eficaz para caracterização química da madeira em escala operacional, desde que os modelos sejam adequadamente calibrados conforme a variabilidade das propriedades da madeira a serem estimadas.

Palavras chave: Ferramenta não destrutiva; Planejamento florestal; Lignina; Cinzas; Extrativos.

OPERATIONAL APPLICATION OF NIRS SPECTROSCOPY IN THE CHEMICAL CHARACTERIZATION OF *Eucalyptus* WOOD

Abstract: Near-infrared spectroscopy (NIRS) has been established as a promising tool for the non-destructive characterization of wood. This study aimed to validate NIRS models for predicting *Eucalyptus* wood chemistry, with the goal of operational application. For this purpose, the models were calibrated using data from 312 operational plantations and validated in 75 commercial areas of *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus dunnii*. The results showed high predictive performance for the lignin and ash models, as indicated by strong correlation coefficients and low prediction errors. In contrast, the extractives model showed lower accuracy, possibly due to a limited calibration range. It is concluded that NIRS is an effective tool for the chemical characterization of wood at an operational scale, provided that the predictive models are properly calibrated according to the variability of the wood properties to be estimated.

Keywords: Non-destructive tool; Forest planning; Lignin; Ash; Extractives.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores, a madeira oriunda do gênero *Eucalyptus* constitui a principal espécie cultivada no território nacional, abrangendo uma área de 10 milhões de hectares, o que corresponde a 76% da área total de plantio no Brasil. Essa expressiva expansão do cultivo é atribuída à elevada demanda que o gênero tem gerado no mercado, sendo destinado principalmente para indústrias de papel e celulose (IBÁ, 2024).

A madeira é um material heterogêneo, constituído por diferentes componentes estruturais, como celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas (ALVES *et al.*, 2025; RAMOS, 2024), logo, é essencial sua caracterização química para a adequada definição de suas aplicações potenciais no mercado. No entanto, os métodos convencionais de caracterização química são geralmente custosos e demorados, exigindo o corte das árvores no campo, além de etapas complexas de amostragem, preparo e análise das amostras.

Dessa forma, estudos recentes têm viabilizado o desenvolvimento de novas metodologias para a determinação dos compostos presentes na madeira, com destaque para a aplicação da tecnologia de espectroscopia no infravermelho próximo, comumente chamada de NIRS (ESTOPA *et al.*, 2017; LOUREIRO *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2021). A técnica NIRS permite a predição das propriedades da madeira de maneira rápida e não destrutiva, sendo amplamente validada por diversos estudos.

No entanto, apesar de seu grande potencial como ferramenta para avaliação da qualidade da madeira, a técnica NIRS ainda necessita de aprimoramento dos modelos preditivos e o estabelecimento de protocolos de amostragem adequados para sua efetiva aplicação em contextos operacionais. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi validar modelos NIRS de predição da química da madeira de *Eucalyptus*, visando sua aplicação operacional em avaliações não destrutivas de plantios florestais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização dos materiais

Todos os materiais avaliados no presente estudo, foram oriundos de plantios da empresa CMPC Celulose Riograndense e localizavam-se distribuídos ao longo de todo o estado do Rio Grande do Sul. A calibração dos modelos de metodologia não destrutiva NIRS foi baseada em 350 amostragens, referentes a 61 materiais genéticos distintos, abrangendo 16 espécies puras de *Eucalyptus* sp. e também híbridos interespecíficos, com idades variando entre 3 e 35 anos. Já a validação operacional priorizou 75 amostragens, referentes às espécies de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii* com a faixa de idade de 5 a 19 anos e de 7 a 20 anos, respectivamente.

2.2. Amostragem e análises da madeira

Para a realização da amostragem, os indivíduos foram selecionados com o objetivo de representar a variabilidade presente em cada talhão. Dessa forma, foram amostradas cinco árvores em plantios seminais e três em plantios clonais.

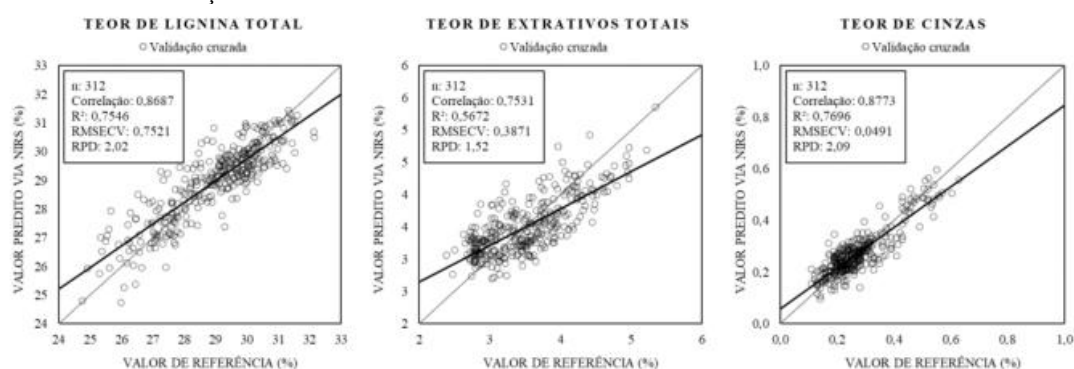
Para a realização da análise em NIRS foi adotado um método não destrutivo de coleta, baseado na perfuração do tronco das árvores em dois pontos: 10 cm abaixo e 10 cm acima do DAP (1,30 m do solo). A serragem obtida de ambos os pontos foi posteriormente combinada, compondo uma amostra representativa de cada indivíduo. O preparo das amostras para análise por espectroscopia NIRS teve início com a secagem do material em estufa (35 ± 3 °C, por 72 h). Em seguida, realizou-se a montagem de amostras compostas, reunindo a serragem proveniente das três ou cinco árvores de um mesmo horto, assim ficando com apenas uma amostra de serragem por local de plantio analisado. As amostras compostas foram então processadas em moinho tipo ciclone, utilizando peneira de 10 mesh, e posteriormente climatizadas (22 ± 1 °C, $45 \pm 5\%$ Umidade Relativa do Ar (UR), por 72 h). As análises espectrais das amostras foram conduzidas por meio de um espectrômetro NIR (Metrohm DS2500 Solid Analyzer), operando na faixa de 1110 a 2500 nm, com resolução espectral de 0,5 nm. Para cada amostra, foram realizadas 32 varreduras, distribuídas em 8 pontos com 4 varreduras/ponto.

Para a realização das análises de referência, foi empregado o método destrutivo de amostragem e posteriormente aplicados métodos convencionais de análise de laboratório. Para isto, discos com 4 cm de espessura foram coletados nas alturas de 0%, DAP, 33%, 66% e 100% da altura comercial da árvore (considerando diâmetro mínimo de 5 cm). Cada disco foi dividido em quatro cunhas, e de duas cunhas opostas foi retirado cunhas de $\frac{1}{8}$ de tamanho, utilizadas para a confecção manual de cavacos. Os cavacos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a $35 \pm 3^\circ\text{C}$ por 72 horas e as amostras provenientes das três ou cinco árvores de um mesmo horto foram homogeneizadas para formar uma amostra composta por local de plantio. Em seguida, o material foi processado em moinho de facas tipo Willey, a serragem obtida foi classificada conforme a norma Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) T 257 (TAPPI, 2012) e a caracterização química das amostras foi realizada com base nos seguintes procedimentos e normas: preparação das amostras para análise química pela TAPPI T 264 (2007), determinação do cinzas pela TAPPI T 211 (2012), definição do teor de extrativos totais como sendo a soma dos teores de extrativos em acetona pela TAPPI T 204 (2007) e extrativos em água quente pela TAPPI T 207 (2008) e determinação do teor de lignina total como sendo a soma dos teores de lignina insolúvel e solúvel em ácido pela TAPPI T 222 (2011).

2.3. Modelos NIRS

Os modelos foram previamente calibrados utilizando o software The Unscrambler (versão 10.4). Visando reduzir o ruído nos espectros, aplicou-se o pré-processamento por segunda derivada, utilizando o algoritmo de Savitzky-Golay com janela de 31 pontos, na faixa do infravermelho próximo (1110 a 2500 nm). Em seguida, os modelos foram calibrados por meio da análise de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R). Amostras identificadas como outliers, com base na tendência de distribuição dos dados, foram removidas do conjunto de calibração. Os modelos calibrados com 312 espectros, para as três características químicas de interesse, podem ser observados na Figura 1, com seus respectivos parâmetros referentes à validação cruzada.

Figura 1: Gráficos de validação cruzada dos modelos PLS-R.



Em que: R^2 = Coeficiente de determinação, RMSECV = Raiz quadrática do erro médio da validação cruzadas, RPD = Razão do erro padrão de desempenho e o desvio padrão.

2.4. Validação operacional

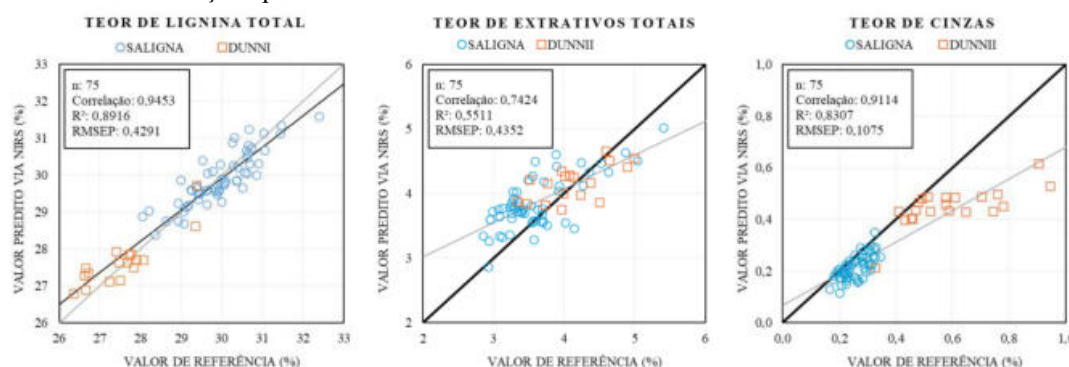
Foram amostrados e analisados 75 plantios de *E. saligna* e *E. dunnii* presentes no plano de colheita da empresa, seguindo a metodologia descrita anteriormente. Os modelos NIRS foram aplicados para prever as características químicas dos plantios e as análises de referência foram realizadas seguindo o método convencional para determinar a viabilidade de operacionalizar a

metodologia alternativa NIRS na caracterização da madeira de plantios florestais. Para isto, foi realizada uma análise detalhada do erro absoluto (EA) entre os valores preditos via NIRS e os valores reais de laboratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação operacional dos modelos NIRS (Figura 2) indicou desempenho satisfatório para o teor de lignina total e para o teor de cinzas, com altos coeficientes de correlação de Pearson e de determinação (R^2), além de baixos valores de erro quadrático médio de predição (RMSEP). Por outro lado, o modelo voltado à predição dos extrativos totais apresentou desempenho inferior, com menor acurácia e maior variabilidade residual.

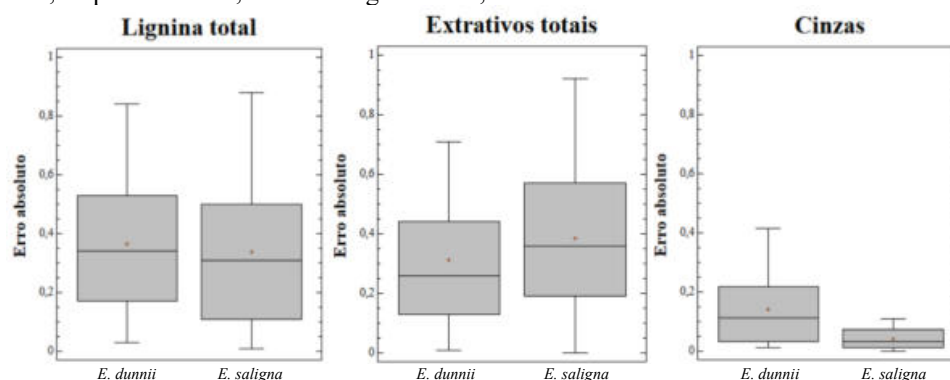
Figura 2: Gráficos de validação operacional dos modelos PLS-R.



Em que: R^2 = Coeficiente de determinação, RMSECV = Raiz quadrática do erro médio da validação cruzadas, RPD = Razão do erro padrão de desempenho e o desvio padrão.

Além disso, a análise da distribuição do erro absoluto (Figura 3) revelou comportamento semelhante entre as espécies para o teor de lignina total, evidenciando estabilidade do modelo para essa variável, porém, os erros absolutos médios foram superiores para *Eucalyptus saligna* no teor de extrativos totais e para *Eucalyptus dunni* no teor de cinzas, indicando sensibilidade desses modelos a características específicas das espécies.

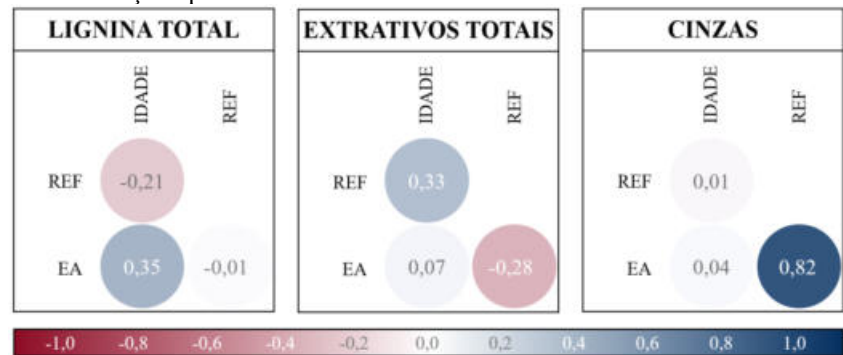
Figura 3: Gráficos de dispersão dos valores de erro absoluto de predição NIRS referentes a validação operacional dos modelos PLS-R de, respectivamente, teores de lignina total, extrativos totais e cinzas.



A correlação entre o erro absoluto médio e as principais variáveis de influência (idade e valor de referência) demonstrou uma tendência de aumento do erro com o incremento do valor de referência para o teor de cinzas (Figura 4), especialmente para a madeira de *E. dunni* que apresenta maiores

concentrações de materiais inorgânicos (Figura 2). Esse comportamento sugere que a calibração atual do modelo apresenta limitações para predição em madeiras com teores elevados de cinzas.

Figura 4: Gráfico de coeficiente de correlação de Pearson entre o erro absoluto de predição, a idade e o valor de referência, relacionados a validação operacional dos modelos PLS-R.



Em que: REF = Valor de referências; EA = Erro absoluto de predição NIRS.

No caso dos extrativos totais, não foram observadas correlações significativas com idade ou valor de referência (Figura 4). No entanto, a alta concentração de amostras de calibração (Figura 1) em uma faixa estreita de teor de extrativos (3 a 4%) pode ter limitado a robustez do modelo. O que indica a necessidade de ampliação da variação dos dados de calibração, para contemplar a diversidade de teores presentes em situações operacionais e, assim, aumentar a capacidade preditiva do modelo.

4. CONCLUSÃO

A validação operacional dos modelos NIRS demonstrou elevada acurácia para a predição do teor de lignina total e teor de cinzas na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*, evidenciando seu potencial para aplicação em avaliações não destrutivas em plantios florestais. Por outro lado, o modelo de predição de teor de extrativos totais apresentou desempenho inferior, indicando a necessidade de ajustes na calibração, especialmente quanto à ampliação da faixa de variação dos valores de referência. A espectroscopia NIR é uma ferramenta promissora para caracterização química da madeira em escala operacional, desde que os modelos sejam adequadamente calibrados conforme a variabilidade dos atributos a serem estimados.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. E. M.; GONÇALVES, J. E.; URBANO, E.; SILVA, R. F.; GARCIA, N. F. L.; OLIVEIRA, M. G. Composição química e potencial de aplicação do *Eucalyptus urograndis* na indústria de celulose e biorrefinaria. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 5, p. 1-19, 2025.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, F. R.; GOMES, F. J. et al. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia NIR. **O Papel**, v. 79, n. 2, p. 75-81, 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2024**. 2024. 99f.

LOUREIRO, B. A.; ARRIEL, T. G.; RAMALHO, F. M. G. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. NIR-based models for estimating selected physical and Chemical wood proprieties from fast-growing plantations. **iForest – Biogeosciences and Forestry**, v. 15, n. 5, p. 372-380, 2022. DOI <https://doi.org/10.3832/for4030-015>

RAMOS, R. D.; LONGUE JÚNIOR, D.; GOMES, F. J. B.; MEDEIROS, N. C. G. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 3, p. 1-21, 2024.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 204**: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: TAPPI, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 207**: Water solubility of wood and pulp. Atlanta: TAPPI, 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 211**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta: TAPPI, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 222**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta: TAPPI, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 257**: Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: TAPPI, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 264**: Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: TAPPI, 2007.

WANG, Y.; XIANG, J.; TANG, Y. et al. A review of the application of near-infrared spectroscopy (NIRS) in forestry. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 57, n. 4, p. 300-317, 2021.

MÉTODO ULTRASSÔNICO PARA PREDIÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE MADEIRAS MODIFICADAS TERMICAMENTE

Nathália Gabriele Franca Dias^{1*}; Rejane Costa Alves¹; Luiz Gustavo de Moraes Rodrigues¹; Maria Eduarda Meira Pratti¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): nathaliagfdias@gmail.com*

Resumo: Este estudo avalia a eficácia do método ultrassônico na predição do módulo de elasticidade de madeiras de eucalipto e cedro modificadas termicamente. A pesquisa investigou o coeficiente de determinação entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), obtido por meio da propagação de ondas ultrassônicas, e o módulo de elasticidade estático (MOE), determinado por ensaios convencionais de flexão. As amostras de madeira foram submetidas à tratamentos térmicos nas temperaturas de 140°C e 180°C, e após foi realizado o ensaio de propagação de ondas ultrassônicas com equipamento operando em frequência de 500 kHz. Os resultados mostraram que o método ultrassônico proporcionou boa confiabilidade preditiva para ambas as espécies, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 70%. O eucalipto apresentou maior confiabilidade preditiva, superando o cedro em 6,4%, o que pode ser atribuído às suas características estruturais mais homogêneas, diferenças na densidade entre as espécies e particularidades na composição química e microestrutura celular. O estudo confirmou a aplicabilidade do método não destrutivo por ondas ultrassônicas para avaliação do MOE, destacando maior precisão na madeira de eucalipto. Contudo, os resultados indicam a necessidade de ajustes nas equações preditivas para cada espécie, a fim de garantir precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

Palavras chave: Eucalipto; Cedro; Ultrassom; Densidade; Frequência.

ULTRASONIC METHOD FOR PREDICTING THE MODULUS OF ELASTICITY OF THERMALLY MODIFIED WOODS

Abstract: This study evaluates the effectiveness of the ultrasonic method in predicting the modulus of elasticity of thermally modified eucalyptus and cedar woods. The research investigated the coefficient of determination between the dynamic modulus of elasticity (MOEd), obtained through ultrasonic wave propagation, and the static modulus of elasticity (MOE), determined by conventional bending tests. The wood samples were subjected to thermal treatments at temperatures of 140°C and 180°C, after which ultrasonic wave propagation testing was performed using equipment operating at a frequency of 500 kHz. The results showed that the ultrasonic method provided good predictive reliability for both species, with coefficients of determination (R^2) greater than 70%. Eucalyptus presented higher predictive reliability, exceeding cedar by 6.4%, which can be attributed to its more homogeneous structural characteristics, differences in density between the species, and particularities in chemical composition and cellular microstructure. The study confirmed the applicability of the non-destructive ultrasonic wave method for MOE evaluation, highlighting greater precision in eucalyptus wood. However, the results indicate the need for adjustments in the predictive equations for each species, in order to ensure accuracy and reliability of the obtained results.

Keywords: Eucalyptus; Cedar; Ultrasound; Density; Frequency.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos não destrutivos baseados na propagação de ondas ultrassônicas têm ganhado significativa relevância para a avaliação da qualidade da madeira (BURNS, 2024). Atualmente, o método ultrassônico é amplamente utilizado para determinar as propriedades elásticas da madeira, incluindo o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), que é determinado com base na densidade da madeira e na medição da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (BAKAR et al. 2022). Esta técnica apresenta vantagens consideráveis em relação aos métodos destrutivos convencionais, como a preservação da integridade do material, rapidez na obtenção de resultados e possibilidade de aplicação in loco (FATHI et al., 2021).

A modificação térmica da madeira consiste no aquecimento da madeira a temperaturas entre 120 e 240 °C, situando-se entre a secagem em alta temperatura e a torrefação, em uma atmosfera com baixo teor de oxigênio, por um período que pode variar de algumas horas a alguns dias (MODES et al., 2017). Esse aquecimento promove melhorias significativas nas propriedades da madeira, como o aumento da estabilidade dimensional, a redução da higroscopicidade e a elevação da resistência à degradação biológica, especialmente contra fungos e insetos (HILL; ALTGEN; RAUTKARI, 2021).

As modificações térmicas a 140°C e 180°C, alteram a estrutura celular e a composição química da madeira (GAFF et al., 2023). Estudos recentes investigam os impactos nas propriedades acústicas e mecânicas, utilizando métodos ultrassônicos para determinar o módulo de elasticidade dinâmico de madeiras tratadas termicamente (HOLEČEK et al. 2017). Estas alterações influenciam diretamente a densidade e, conseqüentemente, a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas através do material, afetando a relação entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático.

Espécies como o eucalipto e o cedro apresentam características anatômicas e estruturais distintas que impactam diretamente a propagação de ondas através do material (CARVALHO et al. 2023). Estudos comparativos entre estas espécies permitem compreender melhor como as diferenças anatômicas e estruturais influenciam a precisão dos métodos não destrutivos na avaliação de suas propriedades mecânicas após modificação térmica.

O presente estudo visa estabelecer o coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), obtido por meio da propagação de ondas ultrassônicas, e o módulo de elasticidade estático (MOE), determinado por ensaios de flexão, para madeiras de eucalipto e cedro submetidas a tratamentos térmicos. A avaliação dos coeficientes de determinação (R^2) permitirá analisar a confiabilidade do método não destrutivo para a predição de propriedades mecânicas destas espécies, fornecendo subsídios para sua aplicação em processos industriais e de controle de qualidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Experimentação e Múltiplos Usos da Madeira (LEMUM), no Departamento de Ciência Florestais e da Madeira (DCFM) – Jerônimo Monteiro, focando na avaliação não-destrutiva do módulo de elasticidade de madeiras tratadas e não tratadas termicamente. As madeiras de cedro (*Cedrela* spp.) e eucalipto (*Eucalyptus* spp.) foram submetidas a modificação térmica em temperaturas de 140°C, 180°C e controle, em estufa com circulação mecânica (FANEM, modelo 320 E) equipada com dois reatores e sistema de monitoramento por termopares conectados a datalogger, com aquecimento de 0,3°C/min. O eucalipto apresentou densidade aparente em torno de 640,66 kg/m³ e o cedro de 398,37 kg/m³, conforme ABNT NBR 7190:2022.

Para a caracterização não destrutiva, empregou-se o equipamento ultrassônico V-Meter MK, operando em frequência de 500 kHz, aplicando o método direto de propagação de ondas. Neste método, os transdutores são posicionados em faces opostas dos corpos de prova, de forma longitudinal com a direção das fibras da madeira, permitindo a obtenção do tempo de propagação das ondas ultrassônicas através da madeira (Figura 1).

Figura 1: Esquema de ensaio dinâmico (propagação de ondas ultrassônicas) e estático (flexão estática) para madeiras de eucalipto e cedro.



A velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (V) foi determinada pela relação entre a distância percorrida (L) e o tempo de propagação (t), conforme a Equação 1:

$$V = L / (t \times 10^{-6}) \quad (1)$$

Em que: V : Velocidade de propagação da onda (m/s); L : Distância entre os transdutores (m); t : Tempo de propagação da onda (μ s).

A partir da velocidade de propagação e da densidade aparente de cada amostra, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) utilizando a Equação 2:

$$V^2 \times \rho \times 10^{-6} \quad (2)$$

Em que: MOEd: Módulo de elasticidade dinâmico (MPa); V : velocidade de propagação da onda (m/s); ρ : Densidade aparente do material (kg/m^3).

Os ensaios destrutivos de flexão estática foram realizados conforme as especificações da norma ABNT NBR 7190:2022, permitindo a determinação MOE na flexão estática.

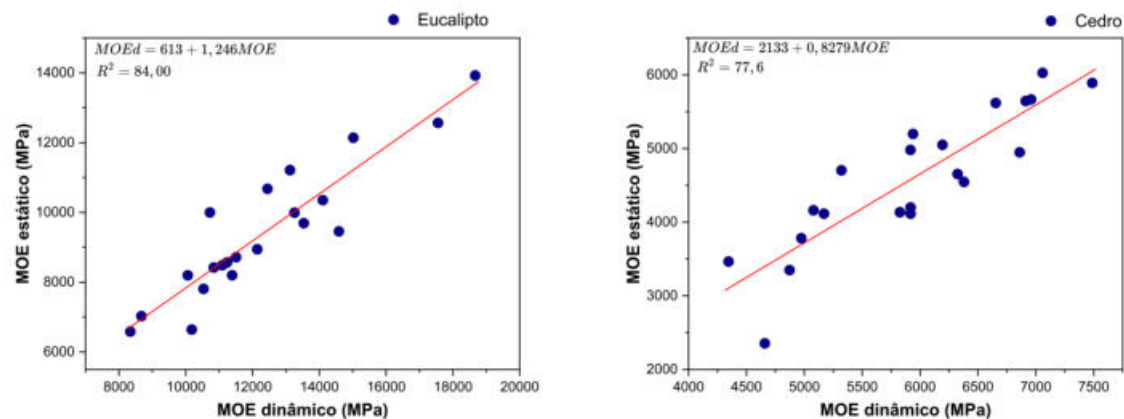
Para validação estatística e determinação da confiabilidade do método ultrassônico, foram realizadas análises de regressão linear simples, considerando conjuntamente as amostras tratadas a 140°C e 180°C. Os valores de R^2 obtidos permitiram avaliar a eficiência do método não destrutivo na predição das propriedades mecânicas das madeiras estudadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os gráficos de regressão linear e os respectivos valores de R^2 , os quais evidenciam a relação entre os parâmetros dinâmicos e estáticos dos módulos de elasticidade avaliados. Nota-se que para ambas as espécies o MOEd demonstrou ser um bom preditor do MOE,

com R² superior a 70%. O eucalipto apresentou maior confiabilidade preditiva, superando o cedro em 6,4%, a diferença observada pode ser atribuída à maior homogeneidade estrutural do eucalipto, diferenças na densidade entre as espécies e particularidades na composição química e microestrutura celular de cada madeira (CARVALHO *et al.* 2023).

Figura 2: Relação entre o módulo de elasticidade estático (MOE) e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pelo método de propagação de ondas ultrassônicas para eucalipto e cedro.



A menor atenuação da onda sonora resulta em maior velocidade de propagação, contribuindo para estimativas mais precisas do MOE (CARVALHO *et al.* 2023). Esse comportamento está diretamente relacionado às particularidades anatômicas de cada espécie, cujas características estruturais heterogêneas influenciam significativamente a propagação das ondas ultrassônicas através do material. (ALVES *et al.*, 2013).

O coeficiente angular mais elevado na equação do eucalipto indica que incrementos no módulo de elasticidade estático produzem aumentos mais significativos no módulo de elasticidade dinâmico para esta espécie, evidenciando uma relação mais direta entre estas propriedades. Fatores intrínsecos da madeira de cedro, como a baixa densidade e fibras com paredes finas (RICHTER; DALLWITZ, 2019) contribuem para valores iniciais mais altos de MOEd, independente do MOE.

Estudos comparativos de madeiras com diferentes densidades demonstram que, nos ensaios de flexão, o módulo de elasticidade da madeira de menor densidade pode ficar até 18,56% abaixo do módulo da madeira de maior densidade (LOBÃO *et al.* 2004). Essa relação entre densidade e módulo de elasticidade também foi evidenciada neste estudo, uma vez que a madeira de eucalipto, por apresentar maior densidade aparente, demonstrou menor dispersão dos pontos nos dados experimentais, ao contrário do cedro, cuja menor densidade aparente resultou em maior dispersão. A variação dos coeficientes de determinação (R²) entre as espécies, de acordo com os tratamentos aplicados, está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Coeficiente de determinação (R²) para as madeiras de cedro e eucalipto submetidas aos diferentes tratamentos.

Coeficiente de determinação			(R ²)
Cedro	Controle	MOE = -1098+1,005 MOEd	92,00%
	Modificada	MOE= 2133+0,8279 MOEd	77,60%
Eucalipto	Controle	MOE=2389+0,5969 MOEd	91,50%
	Modificada	MOE= 511+0,6782 MOEd	70,40%

Esses dados demonstram que a relação entre os valores de MOEd e MOE é mais elevada nas amostras controle, especialmente para o cedro ($R^2 = 92,0\%$) e eucalipto ($R^2 = 91,5\%$), o que reforça a eficiência do método ultrassônico em madeiras não modificadas. Nas amostras modificadas termicamente, observou-se uma redução significativa nos valores de R^2 , com destaque para o eucalipto, cujo valor reduziu em 21,1%, e o cedro em 14,4%. Essa redução reforça aspectos citados por AYDEMIR *et al.* 2024, que observaram através de imagens digitais da estrutura morfológica um aumento das fissuras nas paredes celulares e nos lúmens, resultando na redução da resistência mecânica do material.

A partir da análise dos resultados, o método ultrassônico se mostra eficaz como ferramenta não destrutiva para a avaliação do módulo de elasticidade da madeira (PALIZI; TOUFIGH; RAMEZANPOUR, 2023), apresentando desempenho que varia conforme a espécie analisada. Os valores de R^2 obtidos confirmam essa confiabilidade, reforçando a relevância do método como uma alternativa complementar aos ensaios destrutivos convencionais, mesmo em madeiras modificadas termicamente.

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o método é adequado para estudos das propriedades mecânicas da madeira, destacando maior precisão na madeira de eucalipto, visto que apresenta o maior valor de R^2 observado. No entanto, observa-se a necessidade de ajustes nas equações preditivas para cada espécie, a fim de garantir precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. Entre os tratamentos aplicados, observou-se uma redução nos valores de R^2 entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático das madeiras tratadas termicamente, em comparação à amostra controle, evidenciando o impacto das alterações estruturais provocadas pela modificação térmica.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C.; MARTINS, T.; CARRASCO, E. V. M. Influência da densidade na velocidade de propagação da onda em sete espécies de madeira tropicais. **Natural Resources**, v. 3, n. 1, p. 6-13, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

AYDEMIR, D. et al. Mechanical characterization and strain analysis applied to the heat treatment of wood materials, by means of digital image correlation. **BioResources**, v. 19, n. 2, p. 3010, 2024.

BAKAR, A. H. A. et al. Ultrasonic guided wave measurement in a wooden rod using shear transducer arrays. **Ultrasonics**, v. 119, p. 106583, 2022.

BURNS, Bruno Maia Barroso. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira jovem de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. e *Khaya grandifoliola* C. DC. 2024. 28 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.

CARVALHO, R. A. et al. Predição do módulo de elasticidade estático de *Eucalyptus* sp. por meio de duas técnicas não destrutivas. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 3, p. e70019, 2023.

FATHI, H.; KAZEMIRAD, S.; NASIR, V. Lamb wave propagation method for nondestructive characterization of the elastic properties of wood. **Applied Acoustics**, v. 171, p. 107565, 2021.

GAFF, M. et al. Impact of thermal modification on color and chemical changes of African padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 62, n. 1, p. 20220277, 2023.

HILL, C.; ALTGEN, M.; RAUTKARI, L. Thermal modification of wood: a review chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*, v. 56, n. 11, p. 6581-6614, jan. 2021.

HOLEČEK, T. et al. Medindo o módulo de elasticidade da madeira de abeto tratada termicamente usando métodos de ultrassom e ressonância. **BioRes**, v. 12, n. 1, p. 819-838, 2017.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 889–894, 2004.

MODES, K. S. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

PALIZI, S.; TOUFIGH, V.; RAMEZANPOUR KAMI, M. Ultrasonic pulse velocity for mechanical properties determination of wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 18, n. 6, p. 1966-1977, 2023.

RICHTER, H.G.; DALLWITZ, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019.

MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DE MADEIRAS DE EUCALIPTO MODIFICADAS TERMICAMENTE

Nathália Gabriele Franca Dias^{1*}; Rejane Costa Alves¹; Gilson Mendonça De Miranda Júnior²; Náthali dos Santos Alves¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): nathaliagfdias@gmail.com*

Resumo: O estudo avaliou métodos não destrutivos para análise de propriedades mecânicas em madeiras de eucalipto modificadas termicamente (140°C e 180°C). Foram comparados dois métodos acústicos utilizando o equipamento Ultrasonic Microsecond Timer: o método direto (transdutores posicionados paralelamente às fibras) e o método semidireto (transdutores posicionados perpendicularmente às fibras). O módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido por estes métodos foi relacionado com o módulo de elasticidade estático (MOE) determinado pelo ensaio de flexão estática conforme a NBR 7190-2022. Os resultados demonstraram que ambos os métodos apresentaram forte relação com o MOE estático, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 70%. O método direto alcançou melhor desempenho ($R^2 = 96,2\%$) comparado ao método semidireto ($R^2 = 72,8\%$), provavelmente devido ao alinhamento do transdutor com as fibras, o que resulta em menor atenuação e dispersão das ondas sonoras. O método semidireto, embora menos preciso, apresenta maior aplicabilidade em situações onde o acesso é limitado. O estudo conclui que as técnicas acústicas não destrutivas são eficazes para predição do módulo de elasticidade de madeiras de eucalipto modificadas termicamente, com potencial aplicação na classificação mecânica e avaliação da qualidade estrutural da madeira.

Palavras chave: Ultrassom; Elasticidade; Caracterização; Anisotropia; Velocidade

NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR EVALUATION OF THERMALLY MODIFIED EUCALYPTUS WOOD

Abstract: The study evaluated non-destructive methods for analyzing mechanical properties in thermally modified eucalyptus wood (140°C and 180°C). Two acoustic methods were compared using the Ultrasonic Microsecond Timer equipment: the direct method (transducers positioned parallel to the fibers) and the semi-direct method (transducers positioned perpendicular to the fibers). The dynamic modulus of elasticity (MOEd) obtained by these methods was related to the static modulus of elasticity (MOE) determined by the static bending test according to NBR 7209-2022. The results demonstrated that both methods showed strong correlation with static MOE, with coefficients of determination (R^2) greater than 70%. The direct method achieved better performance ($R^2 = 96.2\%$) compared to the semi-direct method ($R^2 = 72.8\%$), probably due to the alignment of the transducer with the fibers, which results in less attenuation and dispersion of sound waves. The semi-direct method, although less precise, presents greater applicability in situations where access is limited. The study concludes that non-destructive acoustic techniques are effective for predicting the modulus of elasticity of thermally modified eucalyptus wood, with potential application in mechanical classification and evaluation of structural quality of wood.

Keywords: Ultrasound; Elasticity; Characterization; Anisotropy; Velocity

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Eucalyptus* spp. é atualmente a mais plantada no Brasil devido ao seu rápido crescimento, adaptabilidade e versatilidade de usos, sendo amplamente utilizada na indústria de celulose e papel, produção de carvão vegetal, construção civil e fabricação de móveis, entre outras aplicações (IBÁ, 2024). Com a crescente demanda por produtos madeireiros sustentáveis, destaca-se como uma alternativa importante para suprir as necessidades do mercado, reduzindo a pressão sobre as florestas nativas (SANTAROSA *et al.*, 2023).

A modificação térmica é um processo no qual a madeira é submetida a temperaturas elevadas, induzindo a degradação parcial de seus componentes químicos, resultando em maior estabilidade dimensional e redução da higroscopicidade (HULLER *et al.*, 2017). O processo é utilizado para ampliar as aplicações das madeiras de rápido crescimento em ambientes externos e em condições de alta umidade, melhorando suas propriedades como resistência à biodeterioração e estabilidade dimensional (LAUDARES *et al.*, 2023).

Para caracterização adequada deste e outros materiais, os métodos não destrutivos têm ganhado destaque por permitirem análises rápidas, econômicas e repetitivas sem danos estruturais (BURNS, 2024). A propagação de ondas ultrassônicas apresenta dois métodos principais: o direto, onde ondas são emitidas em faces opostas propagando-se longitudinalmente, fornecendo informações de todo o comprimento; e o semidireto, aplicado na mesma face em pontos distantes, facilitando aplicações localizadas e detecção de defeitos pontuais (MACENA *et al.*, 2023; CALEGARI, 2006). A comparação entre os métodos é muito importante para as madeiras modificadas termicamente, pois o processo de modificação afeta de modo distinto as propriedades superficiais e internas da madeira, que podem ser melhor detectados por um método em relação ao outro, justificando a necessidade de avaliar ambos os métodos para estabelecer qual oferece maior confiabilidade e precisão na caracterização deste tipo de material.

O presente estudo visa avaliar e comparar a eficácia dos métodos não destrutivos na determinação do módulo de elasticidade (MOE) da madeira de eucalipto modificada termicamente, sendo realizados pelos métodos direto e semidireto. O objetivo principal é identificar qual método é mais adequado para a avaliação desse material, de modo a escolher o método mais apropriado. A pesquisa busca estabelecer relações entre o MOE obtido por métodos dinâmicos (não destrutivos) e o MOE estático, determinado por ensaios de flexão, considerado o método padrão.

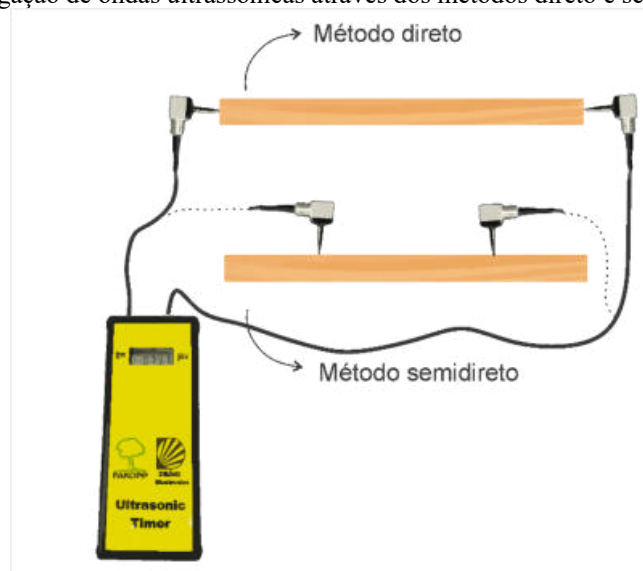
2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), utilizando amostras de madeira de eucalipto (*Eucalyptus* spp.), provenientes da área experimental pertencente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM)/UFES, aos 12 anos de idade. As árvores foram abatidas e desdobradas em tábuas, das quais foram retirados dois corpos de prova por tábua, totalizando 16 amostras que foram posteriormente secas até atingirem a umidade de equilíbrio. Posteriormente as amostras foram preparadas nas dimensões padronizadas para ensaio de flexão estática, conforme a NBR 7190-2022.

O processo de modificação térmica foi conduzido em estufa com circulação mecânica (FANEM, modelo 320 E) equipada com dois reatores e sistema de monitoramento por termopares conectados a datalogger, com rampa de aquecimento de 0,3°C/min até 140°C e 180°C, tratando oito amostras por temperatura.

O ensaio de propagação de ondas ultrassônicas foi realizado com o equipamento Ultrasonic Microsecond Timer operando a 90 kHz, constituindo o foco principal deste estudo, através de dois métodos: direto (transdutores paralelos às fibras) e semidireto (transdutores perpendiculares às fibras) (Figura 1).

Figura 1: Métodos de propagação de ondas ultrassônicas através dos métodos direto e semidireto.



A velocidade de propagação (V) é calculada utilizando Equação 1:

$$V = L / (t \times 10^{-6}) \quad (1)$$

Onde: V = Velocidade de propagação da onda (m/s) L = Comprimento do corpo de prova ou distância entre os transdutores (m) t = Tempo de propagação da onda (μ s)

A partir da velocidade de propagação, calculou-se o módulo de elasticidade Dinâmico (MOEd) utilizando a seguinte equação (Equação 2):

$$MOEd = V^2 \times \rho \times 10^{-6} \quad (2)$$

Onde: MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa) V = Velocidade de propagação da onda (m/s) ρ = Densidade do material (kg/m^3)

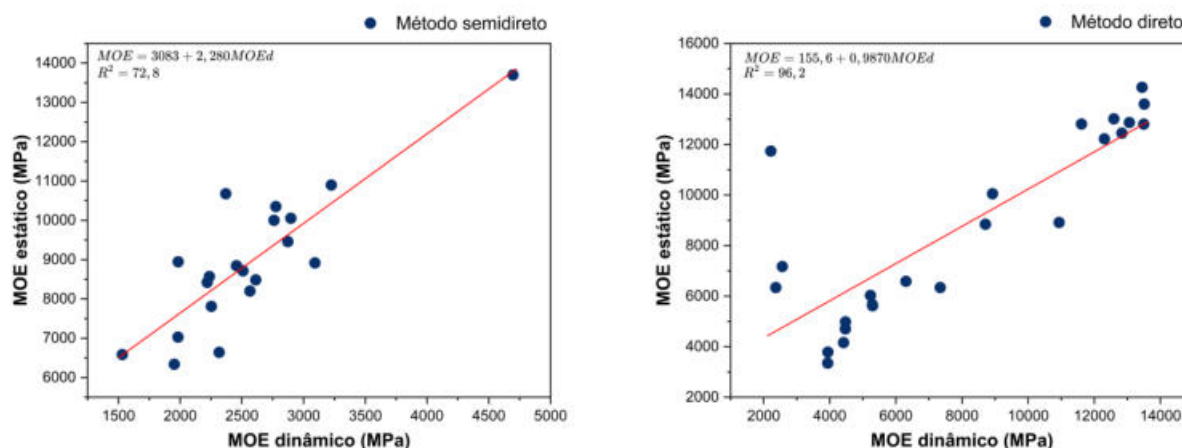
Após a realização dos métodos dinâmicos, o ensaio de flexão estática foi realizado na máquina universal de ensaios (EMIC) (modelo DL 10000), a fim de se comparar os valores do módulo de elasticidade obtidos. Os dados foram analisados considerando conjuntamente as amostras tratadas a 140°C e 180°C, com foco na relação entre os valores de MOEd obtidos pelos diferentes métodos não destrutivos e os valores de MOE determinados pelo método convencional de flexão estática. Para validar a significância dos resultados e determinar a precisão de cada método não destrutivo, foram realizadas análises de regressão linear simples, obtendo-se o coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos abaixo ilustram as relações entre o módulo de elasticidade estático (MOE) e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) em madeira de eucalipto termicamente modificada obtidos por dois diferentes métodos: direto e semidireto (Figura 2). Entre os métodos avaliados, identificou-

se uma variação de 32,14% na confiabilidade dos resultados entre os dois métodos, demonstrada pelos valores de R^2 .

Figura 2: Relação entre o módulo de elasticidade estático (MOE estático) e o módulo de elasticidade dinâmico (MOE dinâmico) obtido pelos métodos direto (a) e semidireto (b).



A modificação térmica nas temperaturas de 140°C e 180°C não comprometeu a eficácia dos métodos ultrassônicos para predição do MOE estático, mantendo relações satisfatórias em ambos os tratamentos. Esse resultado indica que, apesar das alterações químicas e estruturais promovidas pelo tratamento térmico na madeira de eucalipto, os métodos não destrutivos preservam sua capacidade de caracterização das propriedades mecânicas, demonstrando a confiabilidade das técnicas ultrassônicas mesmo em materiais modificados.

O método semidireto apresentou os menores valores de R^2 , indicando menor precisão em prever o comportamento do MOE estático a partir do MOE dinâmico. Apesar de ser menos confiável, é mais comumente utilizado, visto que o método direto não é possível de ser utilizado todas as vezes (SUTAN; MEGANATHAN, 2003). Bucur (2006) corrobora essa observação, descrevendo as limitações práticas dos métodos acústicos em estruturas de madeira em serviço. Essa menor confiabilidade pode ser atribuída à posição perpendicular do transdutor durante o ensaio, que não mantém alinhamento com as fibras do material, como ocorre no método direto (OH, 2020). A orientação do transdutor no método semidireto resulta em uma propagação transversal das ondas, resultando em maior atenuação devido à anisotropia e heterogeneidade da madeira, além de expor o material à influência de descontinuidades estruturais (SANTOS, 2024), efeitos que podem ser intensificados pela modificação térmica.

No método direto, o alinhamento do transdutor com as fibras favorece um meio homogêneo para transmissão, reduzindo dispersão e atenuação das ondas e proporcionando maior precisão (OH, 2020). De acordo com Carvalho *et al.* (2023), o ensaio ultrassônico com propagação paralela às fibras representa uma técnica eficiente para avaliação não destrutiva da qualidade da madeira, permitindo boas correlações com as propriedades mecânicas. Os autores destacam que a eficiência da técnica está relacionada à frequência utilizada e às características anatômicas específicas de cada espécie. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com PALIZI; TOUFIGH; RAMEZANPOUR

(2023), que também encontraram um R^2 variando de 97,9 e 98,9% para o MOEd através da propagação de ondas ultrassônicas na forma direta longitudinal.

Os resultados obtidos demonstram que, em contextos onde a máxima precisão é requerida e as condições permitam, o método direto deve ser priorizado para a caracterização não destrutiva das propriedades mecânicas da madeira modificada. Por outro lado, em situações onde a acessibilidade é limitada ou quando uma estimativa aproximada é suficiente, o método semidireto representa uma alternativa viável, desde que suas limitações sejam devidamente consideradas na interpretação dos resultados.

4. CONCLUSÃO

Os dados analisados indicam que os dois métodos são eficazes para predição do MOE estático, com ambos apresentando R^2 maior que 70%, sendo o melhor desempenho observado no método direto ($R^2 = 96,2\%$) em relação ao método semidireto ($R^2 = 64,0\%$), representando uma diferença de 32,14% na confiabilidade dos resultados. No entanto, as diferentes características dos métodos devem ser consideradas ao optar por uma técnica, dependendo do contexto de aplicação. Trabalhos futuros devem investigar a influência de fatores como teor de umidade, densidade e diferentes temperaturas de modificação térmica, visando o aprimoramento das equações de predição e ampliação da aplicabilidade dessas técnicas não destrutivas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

BURNS, Bruno Maia Barroso. **Avaliação de propriedades mecânicas da madeira jovem de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. e *Khaya grandifoliola* C. DC.** 2024. 28 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.

CARVALHO, R. A. et al. Predição da densidade básica de *Eucalyptus* sp. por meio da técnica não destrutiva de ultrassom. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 2, p. e70092, 2023.

CALEGARI, L. Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; SILVEIRA, A. G.; MENEZES, W. M.; TALGATTI, M.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual 2024. São Paulo: IBÁ, 2024. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2025.

LAUDARES, S. et al. Efeitos da termorretificação nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. e67304, 2023.

MACENA, et al. Estudo da disposição de transdutores ultrassônicos na madeira. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 4., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

OH, S. C. Comparison of Ultrasonic Velocities between Direct and Indirect Methods on 30 mm × 30 mm Spruce Lumber. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**, v. 48, n. 4, p. 562-568, 2020.

PALIZI, S.; TOUFIGH, V.; RAMEZANPOUR KAMI, M. Ultrasonic pulse velocity for mechanical properties determination of wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 18, n. 6, p. 1966-1977, 2023.

SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R.; PENTEADO JÚNIOR, J.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto. **Embrapa Florestas**, 2023.

SANTOS, H. R. S. **Determinação do módulo de elasticidade longitudinal de madeiras utilizando smartphone**. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.

SUTAN, N. M.; MEGANATHAN, M. A Comparison Between Direct And Indirect Method of Ultrasonic Pulse Velocity In Detecting Concrete Defects. **Journal of Nondestructive Testing**, v. 8, n. 5, p. 1-9, 2003.

VALIDAÇÃO OPERACIONAL DE MODELO NIRS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

Láise Vergara Nörnberg^{1*}; Nathalia Farias Gomes²; Osmarino Pires dos Santos³; Franco Freitas Quevedo³; André Luiz Missio¹; Gabriel Valim Cardoso⁴

¹ Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Brasil; ²Laboratório de Qualidade da Madeira, Mensura Florestal, Brasil; ³Pesquisa e Desenvolvimento, CMPC Celulose Riograndense, Brasil;

⁴Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): laisenornberg@gmail.com

Resumo: A densidade básica da madeira é um parâmetro essencial para o setor florestal, influenciando diretamente o desempenho nas etapas de colheita, transporte e processamento industrial, bem como subsidiando programas de melhoramento genético. Este estudo teve como objetivo validar um modelo preditivo baseado em espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) para estimativa não destrutiva da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, com foco em sua aplicação operacional. Foram avaliadas 53 árvores de um clone híbrido de *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus urophylla*, por meio de análises convencionais e alternativas (NIRS). Simulações com diferentes tamanhos amostrais (3 a 50 árvores) permitiram comparar o desempenho das abordagens em termos de desvio absoluto em relação à densidade representativa do plantio. Os resultados indicaram que, embora a metodologia NIRS apresente maior variabilidade, os desvios médios e máximos se reduzem com o aumento do número de árvores amostradas. A análise de 10 árvores por NIRS resultou em estimativas com acurácia e precisão comparáveis à abordagem convencional baseada em três árvores, número amostral comumente utilizado em análises operacionais de plantios clonais. Conclui-se que a aplicação operacional da metodologia NIRS é viável, desde que incorporadas medidas para mitigar suas limitações, contribuindo para uma avaliação eficiente e não destrutiva da qualidade da madeira em plantios clonais de *Eucalyptus*.

Palavras chave: Espectroscopia de infravermelho próximo; Avaliação não-destrutiva; Operacionalização.

OPERATIONAL VALIDATION OF AN NIRS MODEL FOR DETERMINING THE BASIC WOOD DENSITY OF *Eucalyptus*

Abstract: Basic wood density is a key parameter for the forestry sector, directly influencing performance during harvesting, transportation, and industrial processing, as well as supporting tree breeding programs. This study aimed to validate a predictive model based on near-infrared spectroscopy (NIRS) for the non-destructive estimation of basic wood density in *Eucalyptus*, with a focus on its operational application. A total of 53 trees from a hybrid clone of *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus urophylla* were evaluated using both conventional and alternative (NIRS) methods. Simulations with different sample sizes (3 to 50 trees) allowed for comparison of the approaches based on absolute deviation from the representative plantation density. The results indicated that, although the NIRS methodology presents greater variability, average and maximum deviations decrease as the number of sampled trees increases. The analysis of 10 trees using NIRS resulted in estimates with accuracy and precision comparable to the conventional approach based on three trees, which is a commonly used sample size in operational assessments of clonal plantations. It is concluded that the operational application of the NIRS methodology is feasible, provided that measures are adopted to mitigate its limitations, contributing to an efficient and non-destructive assessment of wood quality in *Eucalyptus* clonal plantations.

Keywords: Near-infrared spectroscopy; Non-destructive evaluation; Operationalization.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem se consolidado como um dos mais produtivos do mundo, com aproximadamente 9,94 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo o gênero *Eucalyptus* responsável por cerca de 76% dessa área (IBÁ, 2023). Essa predominância está diretamente relacionada à crescente demanda por madeira para a produção de celulose, papel, energia e outros produtos industriais.

Nesse contexto, o uso eficiente da matéria-prima depende do conhecimento prévio de propriedades físico-químicas da madeira, especialmente a densidade básica, que influencia diretamente o desempenho nas etapas de colheita, transporte e processamento industrial (BOSCHETTI *et al.*, 2020).

A determinação precisa da densidade básica é fundamental para programas de melhoramento genético e para o direcionamento do uso final da madeira. No entanto, os métodos convencionais para sua mensuração, baseados na coleta e processamento destrutivo de amostras, são demorados, custosos e de baixa escalabilidade (ARRIEL *et al.*, 2019; BALDIN *et al.*, 2020). Diante disso, cresce o interesse por tecnologias analíticas mais ágeis e acessíveis, como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), que permite a predição não destrutiva de propriedades da madeira com rapidez e boa acurácia (ESTOPA *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2021).

A técnica NIRS, embora promissora como ferramenta para avaliação da qualidade da madeira, requer a compreensão de suas limitações, o refinamento dos modelos de predição e a definição de estratégias de amostragem adequadas antes da sua adoção operacional. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi validar um modelo NIRS de predição da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, com foco em sua aplicação operacional em avaliações não destrutivas de plantios florestais.

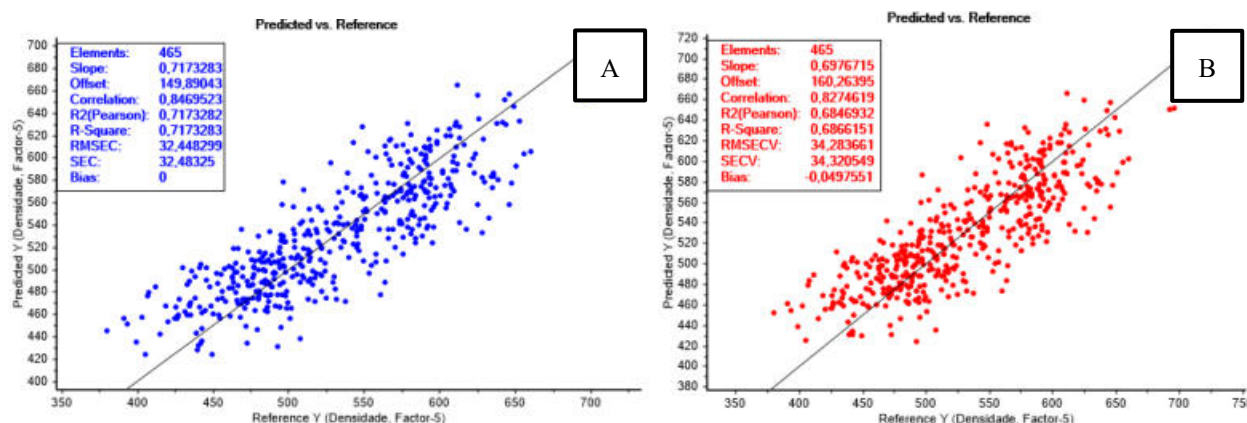
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Modelo NIRS

O modelo preditivo de densidade básica da madeira por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) foi previamente desenvolvido com 465 amostras de madeira de 30 espécies de *Eucalyptus* e híbridos interespecíficos, provenientes de 65 materiais clonais e seminais distintos, com idades entre 3 e 15 anos e plantios em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul.

Os espectros da faixa de 1110 a 2500 nm foram pré-processados com segunda derivada (filtro de 31 pontos, polinômio de 2ª ordem, algoritmo Savitz-Golay) e submetidos à regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R), apresentando os parâmetros dispostos na Figura 1.

Figura 1: Modelo preditivo de densidade básica da madeira de *Eucalyptus*: (A) Calibração; (B) Validação cruzada.

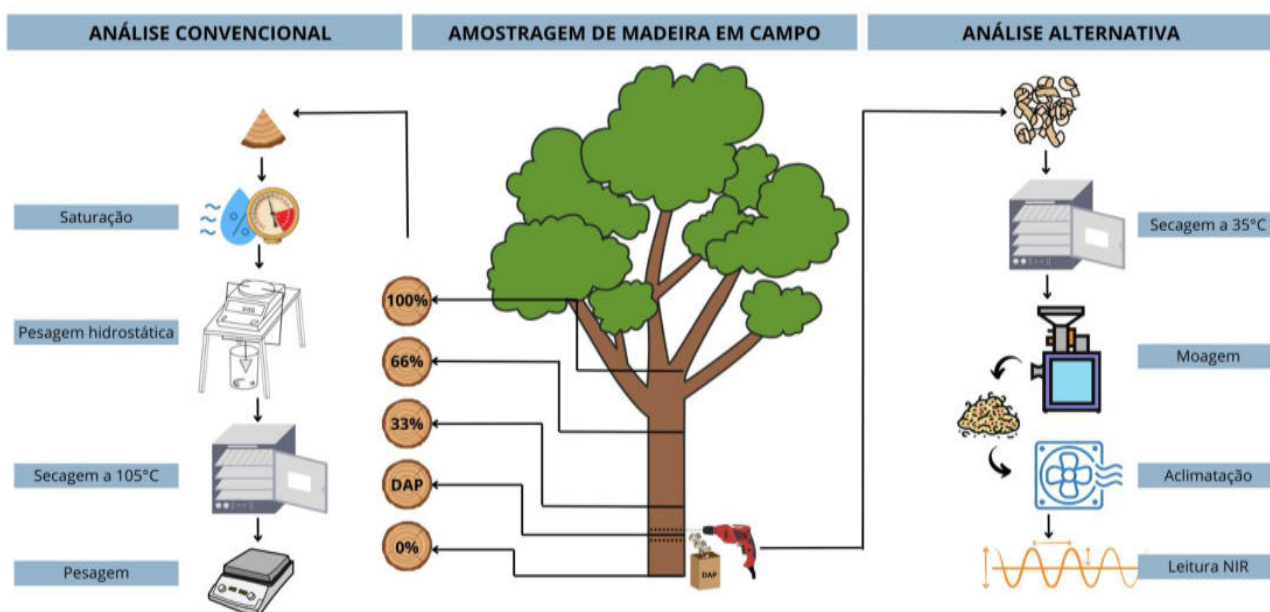


2.2. Amostragem e análises para a validação operacional

A amostragem visando a validação operacional foi realizada em 53 árvores de um clone híbrido de *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus urophylla* com 10 anos de idade, obtidos em um plantio pertencente à CMPC Brasil e localizado no Rio Grande do Sul.

Na amostragem não destrutiva (Figura 2), voltada à análise alternativa via NIRS, as árvores foram perfuradas 10 cm abaixo e acima do DAP (1,30 m do solo), após remoção da casca. A serragem coletada dos dois pontos foi combinada, representando cada árvore. Essas amostras foram secas em estufa ($35 \pm 3^\circ\text{C}$, 72 h), moídas em moinho do tipo ciclone (peneira de 10 mesh) e climatizadas ($22 \pm 1^\circ\text{C}$, $45 \pm 5\%$ UR, 72 h).

Figura 2: Demonstração da sequência de atividades executadas para realização da amostragem em campo, análise alternativa e análise convencional da madeira.



Fonte: Os autores (2025).

As análises espectrais das amostras de serragem foram realizadas em espectrômetro NIR (Metrohm DS2500 Solid Analyzer, 1110–2500 nm, resolução 0,5 nm), com 32 varreduras (4 varreduras em 8 pontos). Os espectros foram pré-processados por segunda derivada (filtro de 31 pontos, polinômio de 2ª ordem, Savitz-Golay), e a densidade básica foi predita utilizando o modelo de regressão por PLS apresentado anteriormente.

Já na amostragem destrutiva (Figura 2), visando a análise convencional da densidade básica da madeira, discos de 4 cm de espessura foram coletados no DAP e nas alturas de 0, 33, 66 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 5 cm). Cada disco foi dividido em 4 cunhas, sendo uma utilizada para determinar a densidade básica segundo a norma SCAN-CM 43:95 (1995). A densidade média da árvore foi obtida pela média das cinco posições amostradas ao longo do fuste.

2.3. Avaliação da viabilidade de operacionalização da metodologia alternativa

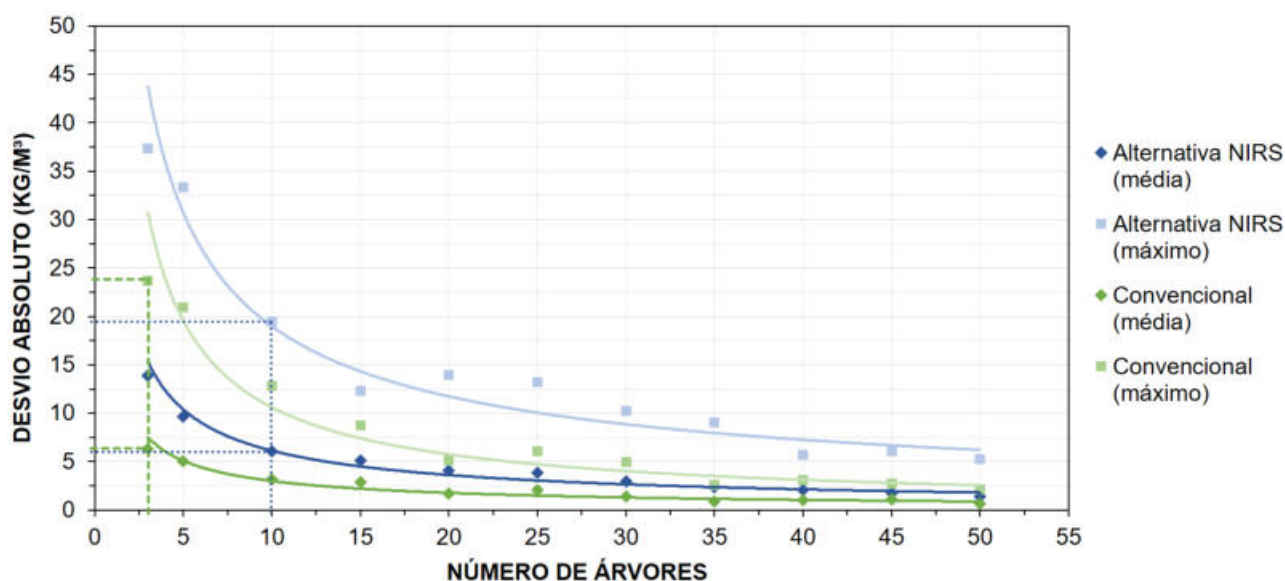
A densidade básica da madeira (DB) representativa do local foi definida como a média aritmética dos valores obtidos pelo método convencional nas 53 árvores amostradas. Para avaliar o número mínimo de árvores necessário para estimar com precisão essa média, utilizando tanto o método convencional quanto o alternativo (NIRS), foram realizadas simulações, por meio de sorteios aleatórios, de 50 repetições de amostragens para cada um dos tamanhos amostrais de 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 árvores.

Para cada simulação, foi calculado o desvio absoluto em relação à densidade básica representativa do local, com o objetivo de avaliar o efeito do aumento do número de árvores sobre a acurácia da estimativa. Ainda, destaca-se que, na prática operacional, a densidade básica da madeira de um talhão com plantio clonal costuma ser estimada a partir da análise convencional de três árvores, o que foi utilizado como parâmetro de referência para avaliar o impacto da utilização da metodologia alternativa como método operacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica da madeira representativa do local apresentou um valor de $581 \pm 15 \text{ kg/m}^3$ (média aritmética $\pm$ desvio padrão). Na Figura 3 se visualiza que os desvios absolutos médios e máximos das simulações de amostragem em função da densidade básica representativa do local diminuem à medida que o número de árvores aumenta. A metodologia alternativa baseada em espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) apresentou desvios médios e máximos superiores aos observados na metodologia convencional, independentemente do número de árvores utilizadas nas simulações. Esses resultados evidenciam a presença de um erro inerente à técnica NIRS, que não é completamente mitigado pelo aumento do tamanho amostral. Observou-se, por exemplo, que a diferença entre os desvios máximos das metodologias foi de aproximadamente 13 kg/m^3 com o uso de apenas três árvores, reduzindo-se para cerca de 3 kg/m^3 quando o número amostral alcançou 40 árvores ou mais.

Figura 3: Resultados do desvio absoluto médio e máximo em função do número de árvores.



Tais desvios são esperados, considerando que o próprio método convencional apresenta variações intrínsecas. Ademais, é importante destacar que os espectros gerados na região do infravermelho próximo refletem diretamente a composição química do material analisado, o que torna a modelagem preditiva da densidade básica por NIRS um desafio adicional. Isso se deve ao fato de que essa propriedade física depende fortemente da relação indireta com os principais constituintes químicos da madeira, como celulose, hemicelulose e lignina, para que o modelo preditivo funcione (TSUCHIKAWA E KOBORI, 2015).

Ainda, considerando o padrão operacional de amostragem e análise convencional de três árvores, observa-se uma densidade básica da madeira de $580 \pm 8 \text{ kg/m}^3$, com desvios absolutos médio e máximo de 6 kg/m^3 e 24 kg/m^3 , respectivamente. Quando se adota o mesmo número de árvores na abordagem não destrutiva por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), obtém-se uma densidade básica de $579 \pm 17 \text{ kg/m}^3$, com desvio absoluto médio de 14 kg/m^3 e máximo de 37 kg/m^3 , indicando maior variabilidade associada ao método alternativo.

No entanto, ao ampliar o tamanho amostral para 10 árvores na metodologia NIRS, os resultados aproximam-se do padrão observado na abordagem convencional. Nessa condição, verifica-se uma densidade básica média de $582 \pm 7 \text{ kg/m}^3$, com desvios absolutos médio e máximo de 6 kg/m^3 e 20 kg/m^3 , respectivamente, sugerindo que a ampliação do número de amostras pode compensar parcialmente as limitações inerentes à técnica não destrutiva.

4. CONCLUSÃO

O modelo preditivo de densidade básica da madeira baseado em NIRS demonstrou potencial para aplicação em avaliações operacionais não destrutivas de plantios clonais de *Eucalyptus*. Embora a metodologia alternativa apresente desvios absolutos médios e máximos superiores aos do método convencional, especialmente em tamanhos amostrais reduzidos, verificou-se que o aumento do número de árvores amostradas reduz significativamente esses desvios, aproximando os resultados daqueles obtidos pelo método de referência. Especificamente, a análise de 10 árvores por NIRS permitiu estimativas com acurácia e precisão similares às obtidas pela abordagem convencional com três árvores, indicando viabilidade operacional mediante ajuste no plano amostral não destrutivo.

Destaca-se, ainda, que o erro inerente ao modelo NIRS decorre da natureza indireta da predição, fundamentada na composição química da madeira, o que reforça a importância do desenvolvimento contínuo de modelos robustos e bem calibrados. Assim, recomenda-se a adoção de estratégias de amostragem otimizadas, aliadas à calibração constante do modelo, como forma de garantir maior confiabilidade na aplicação operacional da metodologia.

REFERÊNCIAS

ARRIEL, T. G. *et al.* Developing near infrared spectroscopic models for predicting density of Eucalyptus wood based on indirect measurement. **Cerne**, v. 25, n. 3, p. 294 -300, 2019.

BALDIN, T. et al. Modelos NIRS para as características químicas da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden & Cabbage. **Caderno de Ciências agrárias**, v. 12, p. 1-9, 2020.

BOSCHETTI, W. T. N.; VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M. 2020. **Densidade e sua variação na madeira de eucalipto**. In: Vidaurre, G. B. et al. Qualidade Da Madeira De Eucalipto Provenientes De Plantações Do Brasil, Vitória: EDUFES, 2020. p. 132-170.

ESTOPA, R. A. et al. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia NIR. **O papel**, v. 79, p. 75-81, 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Anual 2023. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 10 Março 2025.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **SCAN-CM 43:95: Wood chips for pulp production**. Estocolmo: SCAN, 1995.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, v. 61, p. 213-220, 2015.

WANG, Y.; XIANG, J.; TANG, Y.; CHEN, W.; XU, Y. A review of the application of near-infrared spectroscopy (NIRS) in forestry. **Applied Spectroscopy Reviews**, Londres, v. 57, n. 4, p. 300-317, 2021.

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE A MEDIÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE CEDRO-AUSTRALIANO COM UM MEDIDOR RESISTIVO

Stéffany de Lima Araujo^{1*}; Bruno Sangali Arantes¹; Bruno Duarte Lourenço de Araújo¹; Gustavo Jaske da Conceição¹; Djeison Cesar Batista¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): steffanylima02@yahoo.com.br

Resumo: A umidade é uma propriedade intrínseca da madeira que influencia diretamente seu desempenho físico, mecânico e sua estabilidade dimensional. Este estudo teve como objetivo determinar a escala mais adequada de um medidor elétrico resistivo para estimar a umidade da madeira de cedro-australiano (*Toona ciliata*). Utilizou-se o equipamento Gann Hydromette HT65, com quatro escalas de medição, cujos resultados foram comparados aos obtidos pelo método gravimétrico, considerado padrão de referência. Os dados foram analisados por meio de testes estatísticos de comparação de médias (teste t pareado) e correlação de Pearson. A média de umidade da madeira de cedro-australiano foi de 13,99%. Os resultados demonstraram que todas as escalas do medidor resistivo apresentaram médias significativamente diferentes do método gravimétrico. Entretanto, a escala 2 apresentou a menor diferença média em relação ao valor gravimétrico, indicando potencial aplicabilidade prática para estimativas rápidas. A análise também revelou correlações negativas entre os métodos, com significância estatística para as escalas 3 e 4, apontando a necessidade de ajustes metodológicos. Conclui-se que, a escala 2 se mostrou a mais promissora, porém, é recomendável ampliar a amostragem em estudos futuros para garantir maior robustez estatística e confiabilidade dos resultados.

Palavras chave: Caracterização física; Higroscopicidade; Medidor elétrico de umidade; Secagem.

PRELIMINARY STUDY ON MEASURING AUSTRALIAN CEDAR WOOD MOISTURE WITH A RESISTIVE METER

Abstract: Moisture is an intrinsic property of wood that directly influences its physical and mechanical performance, as well as its dimensional stability. This study aimed to determine the most suitable scale of a resistive electrical moisture meter for estimating the moisture content of Australian red cedar wood (*Toona ciliata*). The Gann Hydromette HT65 device was used, which has four measurement scales. The results were compared to those obtained by the gravimetric method, considered the reference standard. Data were analyzed using paired t-tests for mean comparison and Pearson correlation analysis. The average moisture content of *Toona ciliata* wood was 13.99%. The results showed that all scales of the resistive meter presented significantly different means compared to the gravimetric method. However, scale 2 showed the smallest mean difference relative to the gravimetric value, indicating potential practical applicability for rapid estimations. The analysis also revealed negative correlations between the methods, with statistical significance for scales 3 and 4, highlighting the need for methodological adjustments. It is concluded that scale 2 proved to be the most promising, but it is recommended to expand the sample size in future studies to ensure greater statistical robustness and reliability of the results.

Keywords: Physical characterization; Hygroscopicity; Electric moisture meter; Drying.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material higroscópico, com capacidade de trocar umidade com o ambiente circundante em função das condições ambientais, o que resulta em variação no seu teor de umidade. Essa característica influencia diretamente o desempenho da madeira em serviço (Fraga *et al*, 2022), principalmente nos produtos que demandam maior estabilidade dimensional, como pisos e móveis. A umidade da madeira é expressa pela razão entre a massa da água presente na madeira e a massa anidra, em percentual.

O cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem., Meliaceae) vem se destacando no setor florestal brasileiro devido ao rápido crescimento, boa adaptação e à qualidade da madeira, que tem coloração avermelhada e é comparável ao cedro-rosa (*Cedrela* sp.). Essa espécie exótica tem sido plantada principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, voltada para produtos maciços como móveis e esquadrias, devido à boa trabalhabilidade, estabilidade dimensional e densidade adequada (Ziech, 2008). Essas características justificam estudos sobre suas propriedades tecnológicas, visando a utilização racional da espécie.

O controle da umidade é fundamental em praticamente todos os segmentos que utilizam madeira maciça, pois afeta a maioria das suas propriedades físicas e mecânicas. Além disso, conhecer a umidade da madeira permite otimizar a sua industrialização, por exemplo, usinagem, aplicação de acabamentos, colagem, tratamentos preservativos e carbonização. O conhecimento da umidade também é importante para o cálculo dos custos de transporte (Carvalho; Holanda; Pio, 2021).

Diversos métodos são utilizados para determinar o teor de umidade da madeira, com suas vantagens e desvantagens em relação a precisão, exatidão e eficiência, implicando nos custos da análise e, por conseguinte, sua indicação de uso. O método gravimétrico, considerado padrão de referência, baseia-se na secagem das amostras a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante, permitindo alta confiabilidade nos resultados, embora seja um procedimento destrutivo, demorado e oneroso (Moura *et al*, 2021). Por outro lado, os medidores elétricos são amplamente empregados na indústria por permitirem medições rápidas, não destrutivas e de fácil aplicação. No entanto, os resultados gerados são estimativas de umidade e, em geral, os aparelhos possuem restrições de uso acima do ponto de saturação das fibras (Batista *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a escala mais adequada de um medidor elétrico resistivo para estimar a umidade da madeira de cedro-australiano.

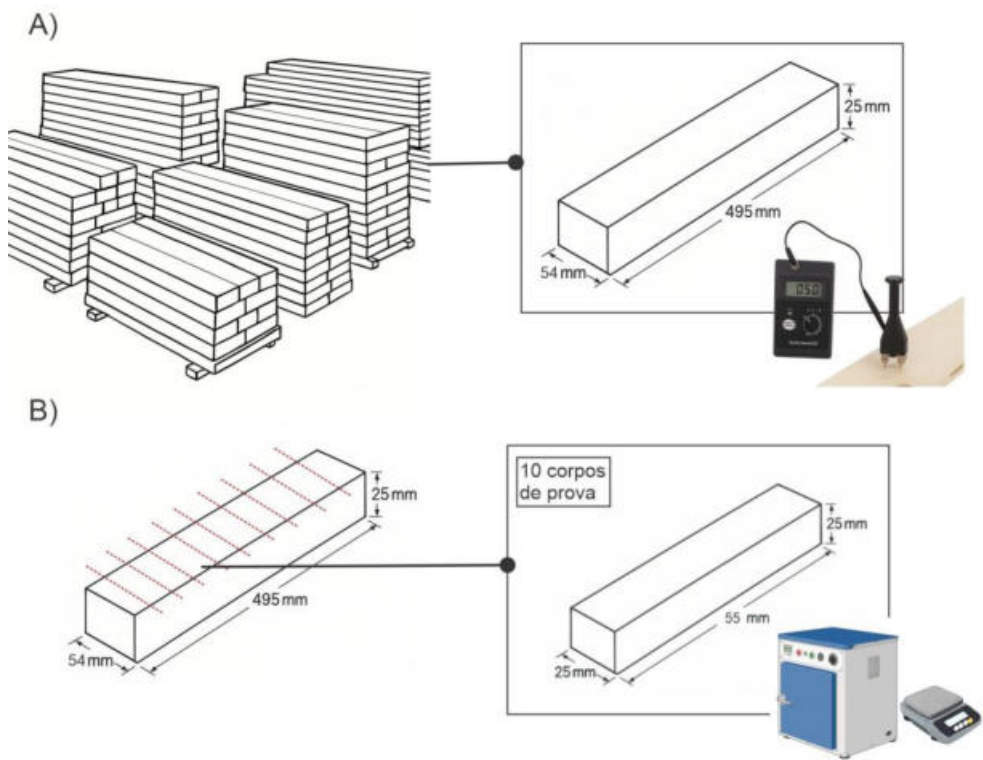
2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de cedro-australiano foi o objeto deste estudo para a avaliação da umidade por meio de dois métodos distintos: o método gravimétrico, também conhecido como método da estufa, e o método do medidor elétrico. O método gravimétrico foi realizado utilizando-se uma estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$, 24 horas) e uma balança semianalítica digital (0,01 g), conforme a norma D4442-20 (American Society for Testing and Materials, 2020). Para o método do medidor elétrico foi utilizado o equipamento resistivo Gann Hydromette HT65, o qual possui quatro escalas de medição conforme uma lista de espécies indicada no manual do fabricante.

Coletou-se uma amostra de $25 \times 54 \times 495$ mm (radial x tangencial x longitudinal) de um estoque de madeira serrada, na qual foram demarcados dez pontos de medição de umidade com o medidor elétrico. Em seguida, a amostra foi serrada transversalmente com uma serra circular, produzindo-se um corpo de prova por ponto de medição, cada um com $25 \times 25 \times 55$ mm (radial x

tangencial x longitudinal). Por fim, determinou-se a umidade de cada corpo de prova utilizando-se o método gravimétrico (Figura 1).

Figura 1: Ilustração do método de amostragem e medição da umidade da madeira.



As análises foram processadas no software R Studio versão 4.0.2 (R Core Team, 2020), adotando-se um nível de significância de 5% para todos os testes. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificação da normalidade e o de Levene para homogeneidade de variâncias. Fez-se uso do teste t de Student para amostras pareadas para a comparação das umidades obtidas pelo método gravimétrico *versus* cada escala do medidor elétrico. Por fim, foi realizada a correlação de Pearson, seguindo-se a mesma lógica do teste t.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média de umidade da madeira de cedro-australiano foi de 13,99% (Tabela 1), a qual representa a umidade de equilíbrio média do ambiente na qual a amostra estava inicialmente depositada. O método gravimétrico teve os menores resultados de desvio padrão (0,34%) e coeficiente de variação (2,46%), indicando resultados mais precisos do que os obtidos com o medidor elétrico de umidade.

Tabela 1: Umidade da madeira obtida pelos dois métodos testados.

Variáveis	Método gravimétrico	Escala do medidor elétrico			
		Escala 1	Escala 2	Escala 3	Escala 4
Umidade (%)	13,99	10,51*	13,17*	15,98*	18,81*
Desvio padrão (%)	0,34	0,40	0,55	0,45	0,52
Coeficiente de variação (%)	2,46	3,79	4,14	2,84	2,76

Médias de umidade das escalas do medidor elétrico seguidas de um * possuem diferença significativa em relação a umidade obtida pelo método gravimétrico, pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

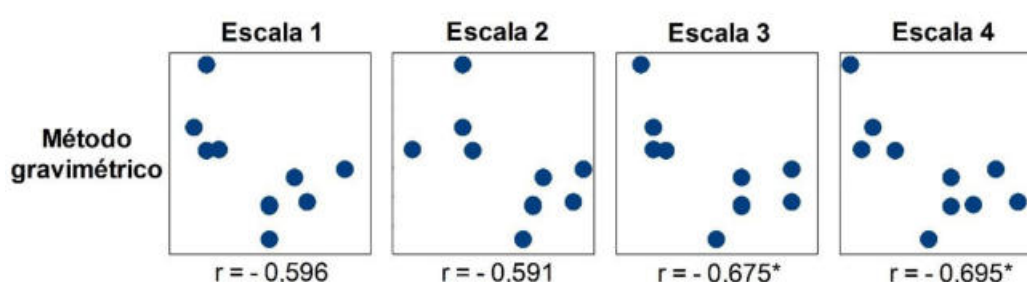
Para os resultados do medidor elétrico de umidade, verificou-se um aumento progressivo das médias da menor para a maior escala, o que está relacionado à programação do fabricante para o funcionamento do aparelho. De acordo com a análise estatística, todas as médias de umidade obtidas nas escalas do medidor elétrico diferenciaram significativamente da média obtida pelo método gravimétrico.

Por um lado, esse foi um resultado ruim, pois indicou que nenhuma escala seria apropriada para a medição da umidade da madeira de cedro-australiano com esse medidor de umidade. Isso pode indicar que a calibração do aparelho, realizada pelo fabricante, não foi apropriada para a densidade e a composição química da madeira testada.

Entretanto, a escala 2 (13,17%) teve a média mais próxima da umidade do método gravimétrico, com uma diferença de apenas -0,82 pontos percentuais, o que pode ser considerada uma boa estimativa para monitoramento prático da umidade da madeira.

Na Figura 1 encontram-se os resultados da correlação de Pearson (ρ) entre os resultados de umidade do método gravimétrico comparados aos resultados de cada escala do medidor. As escalas 3 e 4 tiveram os maiores ρ , os quais também foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$). Todas as correlações foram negativas, indicando uma relação inversa entre os resultados de umidade obtidos pelos métodos gravimétrico e resistivo, o que não era esperado. Isso demonstra a necessidade de aumento da quantidade de repetições.

Figura 1: Correlação de Pearson entre os dois métodos de obtenção de umidade na madeira.



*Coeficiente de correlação de Pearson significativo ($p \leq 0,05$).

Apesar de ter a média mais parecida com a do método gravimétrico (Tabela 1), o resultado do ρ da escala 2 não foi significativo. Isso reforça a necessidade de se ampliar a quantidade de repetições para um ensaio posterior, buscando-se maior consistência nos resultados.

4. CONCLUSÃO

Todas as escalas do medidor apresentaram diferenças significativas em relação ao método gravimétrico, o que indica limitação na acurácia do equipamento para a madeira de cedro-australiano. Apesar disso, a escala 2 se destacou por apresentar média mais próxima à obtida pelo método de referência, configurando-se como a mais adequada dentre as avaliadas para uso prático.

As correlações negativas e a ausência de significância estatística para a escala 2 apontam para a necessidade de ampliar a amostragem e aprofundar a calibração específica do aparelho para essa espécie. Estudos futuros devem incluir um número maior de repetições e considerar outras variáveis anatômicas e físico-químicas que possam influenciar a resposta do medidor.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. **D4442 – 20: Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials**. West Conshohocken: ASTM, 2020.

BATISTA, D. C.; MENDONÇA, A. R.; REGAZZI, A. J.; KLITZKE, R. J.; PIZETTA, R. P.; LUBE, V. M. Determinação do melhor método de utilização de um aparelho resistivo medidor de umidade para a madeira de *Tectona grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 323-329, 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.05](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.05)

CARVALHO, S. R.; HOLANDA, J. S.; PIO, N. S. Análise das propriedades físicas da madeira de *Mogno* (*Swietenia macrophylla* King) em floresta plantada na Amazônia Central. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 2, p.2749-2763, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1388>

FRAGA, I. F.; ARROYO, F. N.; SOARES, L. S. Z. R.; AQUINO, V. B. M.; RUTHES, H. C.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Influência do teor de umidade em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Dipteryx odorata*. **Matéria**, v. 27, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0084>

MOURA, I. R.; VIANA, H. R. G.; SILVA, G. L. C.; ALMEIDA, J. C. G.; COSTA, E. B.; SOUZA, W. R. M. Determinação de umidade em madeira de *Hymenaea courbaril* L. exposta a diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 24, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i2.757>

ZIECH, R. Q. S. Avaliação tecnológica da madeira de *Toona ciliata* cultivada no Brasil. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

APLICAÇÃO DO ULTRASSOM COMO FERRAMENTA DE SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE EUCALIPTO

Carolina Kravetz^{*1}; Cinthya Bertoldo¹

¹ Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): carolinakra.12@gmail.com*

Resumo: O setor de melhoramento genético tem investido no desenvolvimento de novos clones, o que gera a necessidade de avaliar, de forma antecipada, o desempenho e as propriedades da madeira que será produzida. Portanto, este trabalho avaliou a eficiência do uso do ultrassom na separação precoce de clones de eucalipto. Foram analisados três clones (A, B e C) em diferentes idades (mudas e árvores entre 28 e 62 meses), com aplicação de ensaios de ultrassom e ensaios mecânicos. Os parâmetros avaliados foram: velocidade ultrassônica (V_L), resistência (f_{t0} e f_m) e módulo de elasticidade (E_{t0} e E_M). Os resultados indicaram diferenças estatísticas significativas entre os clones (p -valor $< 0,05$), com os clones A e B apresentando desempenho superior em todos os parâmetros e o clone C o mais inferior. O padrão observado nas mudas se manteve ao longo do tempo, portanto a velocidade das ondas de ultrassom apresentou-se como um parâmetro eficiente para distinguir os diferentes clones de eucalipto ainda na fase de muda (3 meses de idade), contribuindo na otimização dos programas de melhoramento genético e manejo florestal.

Palavras chave: Flexão estática; Módulo de elasticidade; Propagação de ondas.

APPLICATION OF ULTRASOUND AS A TOOL FOR EARLY SELECTION OF EUCALYPTUS CLONES

Abstract: The genetic improvement sector has invested in the development of new clones, which creates the need to evaluate, in advance, the performance and properties of the wood that will be produced. Therefore, this study evaluated the efficiency of ultrasound in the early separation of eucalyptus clones. Three clones (A, B and C) at different ages (seedlings and trees between 28 and 62 months old) were analyzed, with application of ultrasound and mechanical tests. The parameters evaluated were: ultrasonic velocity (V_L), resistance (f_{t0} and f_m) and modulus of elasticity (E_{t0} and E_M). The results indicated statistically significant differences between the clones ($p < 0.05$), with clone A showing superior performance in all parameters and clone C the lowest. The pattern observed in the seedlings was maintained over time, therefore the ultrasound waves velocity was an efficient parameter to distinguish the different eucalyptus clones still in the seedling stage (3 months old), contributing to the optimization of genetic improvement and forest management programs.

Keywords: Static bending; Modulus of elasticity; Wave propagation.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da demanda do setor florestal por clones de eucalipto cada vez mais adaptados às condições ambientais, torna-se essencial desenvolver materiais que sofram menos variações em suas características ao longo do tempo (IBÁ, 2024). O setor de melhoramento genético tem investido no desenvolvimento de novos clones, o que gera a necessidade de avaliar, de forma antecipada, o desempenho e as propriedades da madeira que será produzida. Diante disso, torna-se relevante buscar métodos que permitam prever com maior antecedência as propriedades dos diferentes materiais genéticos de eucalipto.

O ultrassom é um equipamento não destrutivo, que pode ser utilizada para inferir características da madeira, como na predição das propriedades físicas e mecânicas (Gonçalves et al., 2013; Batista, 2012; Bertoldo et al., 2011). A velocidade da onda varia de acordo com as características do material, assim, em um meio sólido, está diretamente correlacionada com as propriedades mecânicas (Bertoldo, 2014). De maneira geral, materiais mais rígidos e resistentes apresentam maiores velocidades de propagação das ondas ultrassônicas (Bertoldo, 2014).

Além disso, estudos recentes demonstraram que o uso do ultrassom também é eficaz na obtenção de informações sobre as propriedades dos clones de eucalipto ainda na fase de muda (Gonçalves et al., 2018; Gonçalves et al., 2019). Esses trabalhos evidenciam o potencial do ultrassom como uma ferramenta para a classificação precoce de diferentes clones, com base em suas propriedades mecânicas, principalmente a rigidez, possibilitando a antecipação da seleção de materiais mais promissores.

Considerando a ampla variedade de clones disponíveis no mercado, e o fato de que cada um apresenta comportamento específico quanto às suas propriedades, torna-se fundamental que cada empresa desenvolva seu próprio banco de dados para apoiar as decisões de seleção. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da técnica de ultrassom na separação precoce (ainda na muda) de clones de eucalipto, considerando suas propriedades mecânicas como critério de distinção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

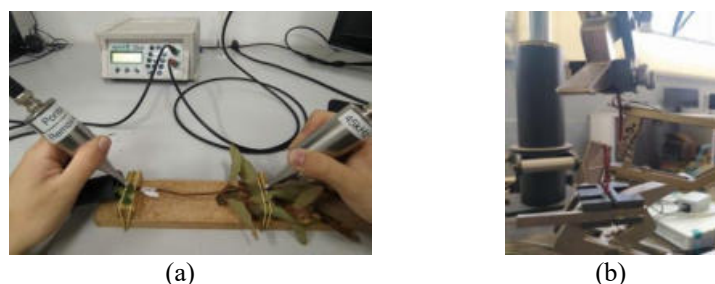
Para a execução da pesquisa foram utilizados três clones de *Eucalyptus* sp (A, B e C), que são cultivados por empresa parceira. Para cada um dos clones foram utilizadas 50 mudas e 108 árvores com idades que variaram de 28 e 62 meses.

2.1 Ensaios nas mudas

Nas mudas foi realizado ensaio de ultrassom (USLab, Valora Madeira, Brasil), a partir de transdutores com pontas adaptadas de 45 kHz de frequência (Lorensani, 2017), posicionados inclinados (aproximadamente 45°) em relação ao fuste da muda (Figura 1a). Obteve-se o tempo médio de propagação da onda para obtenção da velocidade de propagação (Equação 1), com a distância (D) entre transdutores igual a 0,15 m.

Após os ensaios de ultrassom as mudas foram ensaiadas à tração em máquina universal de ensaios (EMIC, DL30000, Brasil) (Figura 1b), onde foram instaladas as garras de pressão e um extensômetro para a coleta dos valores de deformação elástica das mudas. Com os dados obtidos desse ensaio foi possível o cálculo da resistência (f_{t0} – Equação 2) e do módulo de elasticidade na tração (E_{t0} – Equação 3) das mudas.

Figura 1. Ensaios nas mudas de eucalipto: ensaio de ultrassom (a) e ensaio de tração (b).



$$V = \frac{D}{t} \quad (1)$$

Onde: D é distância entre os transdutores na realização dos ensaios em metros e t é o tempo de propagação das ondas identificado pelo equipamento em μ segundos.

$$f_{t0} = \frac{F_{t,max}}{A} \quad (2)$$

$$E_{t0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (3)$$

Onde: $F_{t,max}$ = força máxima obtida no ensaio de tração; A = área da seção transversal da muda. $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$ = tensões correspondentes a 50% e 10% da carga máxima aplicada na muda no ensaio de tração; $\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$ = deslocamento correspondente as tensões de $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

2.2 Ensaio nas árvores

Os ensaios de propagação de ondas nas árvores foram realizados em campo, com equipamento de ultrassom USLab e transdutores de faces exponenciais de 45 kHz de frequência, no sentido longitudinal, com os transdutores inclinados à 45° e posicionados na mesma face do tronco (Figura 2a). A partir da obtenção do tempo de propagação das ondas e da distância ($D = 0,5$ m) entre os transdutores durante o ensaio, foi possível calcular a velocidade de propagação de ondas no sentido longitudinal (V_L) (Equação 1).

Logo após o ensaio de ultrassom nas árvores, essas foram cortadas e enviadas para o laboratório, para a obtenção dos corpos de prova para o ensaio de flexão. Foram produzidos 108 corpos de prova de flexão (1 corpo de prova retirado de cada árvore) com seção transversal de $0,02 \times 0,02$ m² e 0,42 m de comprimento, de acordo com a ASTM D-198-15 (2016). Os ensaios de flexão foram realizados em máquina universal de ensaios (EMIC- Figura 2b), realizado à três pontos (dois pontos de apoio e um ponto de aplicação de carga - ASTM D198-15, 2016). Os dados de deslocamento vertical da madeira foram obtidos por meio de deflectômetro posicionado no meio do vão (Figura 2b).

Figura 2. Ensaio de ultrassom no sentido longitudinal (a); Ensaio de flexão sendo realizado na EMIC (b).



(a)



(b)

A partir dos dados de força e de deslocamento foi possível realizar o cálculo das resistências (f_m – Equação 4) e dos módulos de elasticidade (E_M – Equação 5) à flexão. Para o módulo de elasticidade foi realizada a correção em relação a umidade de 12% (ABNT NBR7190, 2022).

$$f_m = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

$$E_M = \frac{23(P_{40\%} - P_{20\%})L^3}{108bh^3(\Delta_{40\%} - \Delta_{20\%})} \quad (5)$$

Onde: P = carga máxima; L = comprimento do vão livre; b e h = dimensões da seção transversal do corpo de prova. $P_{40\%}$ e $P_{20\%}$ = faixas utilizadas para o cálculo representando 40% e 10% da carga

máxima aplicada ao corpo de prova durante os ensaios de flexão; L = comprimento do vão livre; b e h = dimensões da seção transversal do corpo de prova; $\Delta_{40\%}$ e $\Delta_{20\%}$ = deslocamentos verticais correspondentes às cargas $P_{40\%}$ e $P_{20\%}$.

2.3 Análise de dados

Os dados foram analisados em relação à normalidade e foi aplicado o teste de comparação de médias (*Multiple Range Test*) com nível de confiança de 95%, para identificar se houve diferença estatística das propriedades dos clones avaliados. Dessa forma, foi verificado se os clones puderam ser diferenciados a partir do ensaio de ultrassom realizados nas mudas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os parâmetros apresentaram distribuição normal e, os testes de comparação de médias, tanto para a velocidade de propagação de ondas como para os parâmetros de resistência (f_{i0} e f_m) e de rigidez (E_{i0} e E_M) foram estatisticamente significativos ($P\text{-valor} < 0,05$) com 95% de nível de confiança. Os valores médios de velocidade de ondas ultrassônicas nas mudas foram estatisticamente distintos entre os clones A, B e C, e variaram entre 1800 a 2200 m.s^{-1} , sendo 33% inferior para o clone C quando comparado com o clone B, que apresentou os maiores valores para o parâmetro (Tabela 1). Para as demais idades avaliadas, a diferença entre a maior e a menor velocidade apresentada entre os clones, foi de apenas 5%, sendo que a menor velocidade foi verificada nas árvores do clone B para as idades de 28 meses e, para o clone A, quando considerado a maior idade avaliada (62 meses) (Tabela 1). As velocidades tiveram as mesmas ordens de grandeza às reportadas por Gonçalves et al. (2018), Gonçalves et al. (2019) e Melo et al. (2020).

Os parâmetros mecânicos, tradicionalmente utilizados para avaliação da resistência (f_{i0} e f_m) e da rigidez da madeira (E_{i0} e E_M) também apresentaram variações significativas entre os clones. O clone A destacou-se com valores 71% maiores de rigidez e 32% maiores de resistência nas mudas, e 30% maiores nas demais idades, em comparação ao clone C, que apresentou os menores valores para ambos os parâmetros (Tabela 1). Para estes ensaios foram encontrados valores próximos à outras pesquisas, tanto em mudas (Gonçalves et al., 2018 e Gonçalves et al., 2019) como ao de árvores entre 48 e 60 meses (Benin et al., 2017; Melo et al., 2020; Huse et al., 2024). No entanto, diferentemente do ultrassom e da rigidez, que separou estatisticamente todos os clones, a resistência apresentou diferença significativa apenas entre o clone A e os demais, demonstrando que o ultrassom e a rigidez, pode ter maior poder discriminativo na fase de muda.

De forma geral, observa-se que o padrão identificado aos 3 meses se mantém nas idades mais avançadas, indicando uma relação consistente entre os resultados obtidos na muda e o desempenho mecânico futuro da madeira (Tabela 1). Estudos realizados têm demonstrado a correlação entre os parâmetros de propagação de ondas de ultrassom com as propriedades de resistência e de rigidez da madeira, assim considerando uma mesma espécie, os maiores valores de resistência e de rigidez estão associados à maiores valores de velocidade ultrassônica (Bertoldo, 2014). Deste modo, os clones A e B apresentaram os maiores valores de velocidade, de resistência e de rigidez, e mantiveram-se como os clones com melhor desempenho mecânico ao longo do tempo. Por outro lado, o clone C, continuou apresentando os menores valores para todos os parâmetros.

Tabela 1. Valores de média e coeficiente de variação (entre parêntesis em %) da velocidade do ultrassom (V), da resistência (f_{t0} e f_m) e do módulo de elasticidade (E_{t0} e E_m) dos três clones (A, B e C) utilizados para pesquisa.

Idade (meses)	V_L (m.s ⁻¹)			f_{t0} ou f_m (MPa)			E_{t0} ou E_m (MPa)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3 (mudas)	1801 b (11,5)	2167 c (7,8)	1446 a (9,3)	31 e (36,4)	21 d (38,5)	21 d (37,6)	4357 i (45,4)	2150 h (53,6)	1282 g (53,1)
28	3652 ab (5,4)	3587 a (5,2)	3752 b (7,0)	70 f (13,8)	59 e (3,4)	48 d (7,4)	7378 h (11,1)	7252 h (3,3)	5416 g (24,2)
62	5106 a (5,6)	5399 b (7,6)	5142 a (4,0)	74 e (10,0)	72 e (16,3)	53 d (2,9)	11181 h (19,8)	8471 g (22,1)	7665 g (15,1)

Nas linhas, letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas com 95% de nível de confiança.

Dessa forma, os resultados apresentados na Tabela 1 demonstram que a velocidade do ultrassom é um parâmetro eficiente para distinguir os diferentes clones de eucalipto ainda na fase de muda. O ensaio de ultrassom é uma ferramenta eficaz, não destrutiva e de fácil aplicação para acessibilidade de propriedades da madeira, como as mecânicas (Bertoldo et al., 2009; Bertoldo et al., 2011; Batista, 2012; Wang, 2013), e a distinção estatística evidencia a sensibilidade do ultrassom em detectar variações estruturais da madeira ainda em estágios iniciais de desenvolvimento, sendo também utilizada na seleção precoce de clones de eucalipto com maior rigidez e resistência mecânica (Gonçalves et al., 2018 e Gonçalves et al., 2019), características diretamente associadas à tolerância ao vento, por exemplo (Ataíde et al., 2015; Batista, 2012). Portanto, o uso dessa técnica pode otimizar programas de melhoramento genético e manejo florestal, permitindo a identificação antecipada de materiais mais adaptados a condições adversas.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é um parâmetro eficaz para diferenciar clones de eucalipto ainda na fase de muda. Os clones A e B, que desde os três meses apresentaram os maiores valores de velocidade, resistência e rigidez, mantiveram-se com os melhores desempenhos ao longo do tempo, ao passo que o clone C apresentou desempenho inferior em todos os parâmetros. Diante disso, o uso do ultrassom se mostra vantajoso por ser um método não destrutivo, de aplicação simples e com potencial para acelerar o processo de seleção precoce de materiais superiores, contribuindo para maior eficiência nos programas de melhoramento genético.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D198-15 Static Tests of Lumber in Structural Sizes**. Philadelphia, Pa, USA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **ABNT NBR 7190 Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro (RJ). 2022.

ATAÍDE G. M.; CASTRO R. V. O.; CORREIA A. C. G.; REIS G. G; REIS M. G. F.; ROSADO A. M. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, abr.-jun., 2015.

BATISTA, F. A. F. **Diferenciação de clones de eucalipto utilizando ensaio de propagação de ondas em árvores**. 2012. 48 p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2012.

- BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciências Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, out-dez, 2017.
- BERTOLDO, C. **Propriedades de Resistência e de Rigidez da madeira obtidas a partir da avaliação acústica na árvore**. 2014. 122 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014.
- BERTOLDO, C.; GONÇALVES, R.; BATISTA, F.; SECCO, C. B. Velocity of ultrasonic waves in live trees and in freshly-felled logs. In: 17th International Nondestructive Testing and evaluation of wood symposium WoodNDT, 2011, Sopron, Hungria, **In Proceedings...** Vol. 1, pp.1-3. 2011.
- BERTOLDO, C.; GONÇALVES, R.; MASSAK, M. V.; SECCO, C. Assessment of Wood Quality by Tree Evaluation Using Ultrasound. In: XIII Congresso Florestal Mundial, 2009, Buenos Aires. v. 1. p. 304-304. 2009.
- GONÇALVES, R.; BATISTA, F.; LORENSANI, R. M. Selecting Eucalyptus Clones Using Ultrasound Test on Standing Trees. **Forest Products Journal**, v. 63, p. 112-118, 2013.
- GONÇALVES, R.; LORENSANI, R. G. M.; MERLO, E.; SANTACLARA, O.; TOUZA, M.; GUAITA, M.; LARIO, F. J. Modeling of wood properties from parameters obtained in nursery seedlings. **Canadian Journal Forest Research**, v. 48, p. 621-628, 2018.
- GONÇALVES, R.; LORENSANI, R. G. M.; RUY, M.; VEIGA, N. S.; MULLER, G.; ALVES, C. da S.; MARTINS, G. A. Evolution of Acoustical, Geometrical, Physical and Mechanical Parameters from Seedling to Cutting Age in Eucalyptus Clones Used in the Pulp and Paper Industries in Brazil. **Forest Products Journal**, v. 69, n. 1, p. 5-16, 2019.
- HUSE, S. A.; GUNAGA, R. P.; SINHA, S. K.; BEHERA, L. K. Genetic variation in wood mechanical properties among Eucalyptus clones. **Indian Journal of Ecology**, India. 51 (2): 272-276, 2024.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2024**. Brasília, 2024. 96 p. 2024.
- LORENSANI, R. G. M. **Antecipação do conhecimento de propriedades da madeira utilizando ensaios em mudas**. 2017. 107 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2017.
- MELO, R. R. de; BARBOSA, K. T.; BELTRAME, R.; ACOSTA, A. P.; PIMENTA, A. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Ultrasound to determine physical-mechanical properties of *Eucalyptus camaldulensis* wood. **Wood Material Science & Engineering**. 2020.
- WANG, X. Acoustic Measurements on Trees and Logs: a Review and Analysis. **Wood Science and Technology**. 47: 965-975. 2013.

DENSITOMETRIA DE RAIOS-X DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES NATIVAS

Leticia Costa Peres¹, Caio Cesar Nemer Martins¹, Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹, Vinícius Resende de Castro¹,
Rafael Silveira Gomes Cardoso¹, Leila Aparecida Lopes¹, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹,
Nayara Franzini Lopes¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

*Autor correspondente: leticia.peres@ufv.br

Resumo: A complexidade estrutural do lenho das árvores reflete em variações em suas propriedades. A densidade aparente, parâmetro crucial para a utilização da madeira, foi analisada por densitometria de raios-x, um método não destrutivo, em quatro espécies: Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Gitó (*Guarea trichilioides*) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*). A densidade aparente variou entre as quatro espécies, sendo a maior para Muiracatiara e a menor para Cedro-rosa. A heterogeneidade ao longo da amostra também foi evidenciada pelo desvio padrão e pela representação 3D das imagens de raios-x. Foi possível obter a densidade aparente das espécies estudadas por meio da densitometria de raios-x. A Muiracatiara apresentou a maior densidade aparente (0,967 g.cm³) e o maior desvio padrão da média (0,565), enquanto o Cedro-rosa teve a menor (0,542 g.cm³) e a menor desvio padrão (0,160), o que demonstra a grande variabilidade das espécies madeireiras nativas. Conclui-se que a densitometria de raios-x pode ser utilizada para caracterizar amostras de madeira raio-X, contribuindo também para a sua utilização.

Palavras-chave: Densidade aparente; Método não destrutivo; Madeiras tropicais.

X-RAY DENSITOMETRY OF WOOD FROM FOUR NATIVE SPECIES

Abstract: The structural complexity of tree timber reflects variations in its properties. Apparent density, a crucial parameter for wood utilization, was analyzed using X-ray densitometry, a non-destructive method, in four species: Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Gitó (*Guarea trichilioides*), and Muiracatiara (*Astronium lecointei*). Apparent density varied among the four species, with the highest value found in Muiracatiara and the lowest in Cedro-rosa. Heterogeneity throughout the samples was also evidenced by standard deviation and 3D representation of X-ray images. Muiracatiara presented the highest apparent density (0.967 g.cm³) and the largest standard deviation of the mean (0.565), while Cedro-rosa had the lowest (0.542 g.cm³) and the smallest standard deviation (0.160), which demonstrates the great variability of native timber species. It was concluded that X-ray densitometry can be used to characterize wood samples, contributing to their proper utilization.

Keywords: Apparent density; Non-destructive method; Tropical timber.

1. INTRODUÇÃO

A complexidade estrutural do lenho das árvores, influenciada por fatores como idade, condições ambientais e características genéticas, reflete-se diretamente em variações significativas em suas propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas. O Brasil possui a maior biodiversidade de espécies florestais do mundo, com mais de 46.000 táxons registrados (Flora do Brasil, 2021). Essa diversidade, no entanto, apresenta desafios práticos, especialmente na identificação botânica, já que muitas espécies compartilham características morfológicas semelhantes. Essa dificuldade é agravada pela existência de variações intraespecíficas, causadas por

adaptações locais, e pela multiplicidade de nomes comerciais (Braga Júnior et al., 2020; Santos et al., 2022).

Entre as propriedades mais relevantes para a caracterização da madeira, a densidade aparente é um parâmetro crucial, pois está diretamente relacionada a propriedades como rigidez e resistência (Gao et al., 2017). Tradicionalmente obtida por métodos destrutivos, a densitometria de raios X surge como uma alternativa eficiente, permitindo análises rápidas e não invasivas com alta precisão (Castro et al., 2017). Estudos mostram que madeiras nativas brasileiras variam de média a alta densidade (0,56–1,05 g.cm⁻³), sendo indicadas para usos nobres, como construção civil e móveis (IPT, 1983; Silveira et al., 2013; de Farias e Melo, 2020).

Apesar dessas potencialidades, há poucos estudos sobre densitometria de raios-X em madeiras nativas. Portanto, este trabalho visa avaliar imagens de raios-x da madeira de quatro espécies nativas: Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Gitó (*Guarea trichilioides*) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*) e realizar a densitometria do lenho de espécies brasileiras, contribuindo para sua identificação e aplicação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Quatro espécies nativas brasileiras, de diferentes idades, provenientes da xiloteca do Laboratório de Propriedades da Madeira da Universidade Federal de Viçosa, foram utilizadas (Tabela 1).

Tabela 1: Nome científico e família das madeiras analisadas

Nº	Nome comum	Nome científico	Família
1	Cedro-rosa	<i>Cedrela fissilis</i> Vell	Meliaceae
2	Garapeira	<i>Apuleia leiocarpa</i> (J. Vogel) J. F. Macbr.	Fabaceae
3	Gitó	<i>Guarea trichilioides</i> L.	Meliaceae
4	Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Anacardiaceae

Das amostras com dimensões 2,0×1,0 cm, largura x espessura no sentido medula-casca com auxílio de serra de fita vertical, foram retiradas amostras de 2 milímetros de espessura seccionada radialmente na máquina serra circular. As amostras foram armazenadas em sala climatizada a 20 °C e 65% de umidade relativa do ar durante 24 horas.

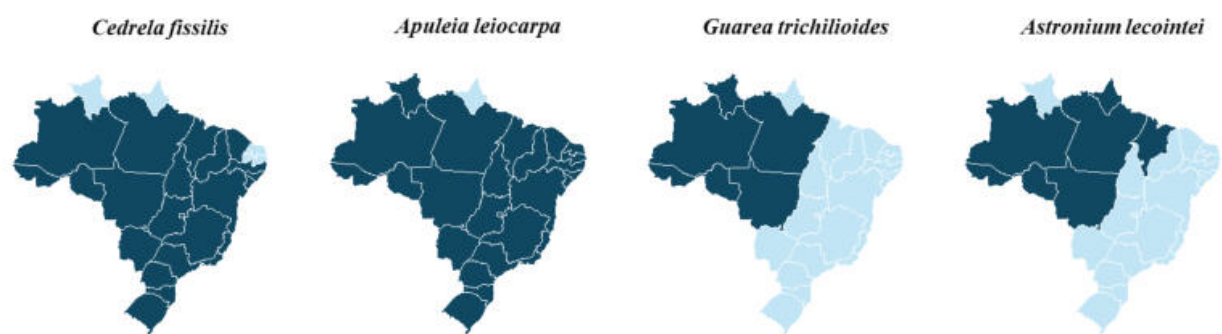
Para determinação da densidade aparente por densitometria de raios-x, as amostras foram submetidas juntamente com a escala de calibração de acetato de celulose no equipamento Faxitron LX-60 (Faxitron, Lincolnshire, Inglaterra), a 26 Kv por 19 segundos.

Os perfis de densidade aparente com as imagens em escala cinza e a calibração foram analisados utilizando o software ImageJ. A partir das imagens digitais em escala cinza, foram transformadas em uma escala colorida com o software Photoshop, e a análise da variação da densidade na superfície 3D foi realizada com o software ImageJ.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as espécies estudadas, Cedro-rosa e Garapeira tem maior distribuição no território nacional, e Gitó e Muiracatiara uma distribuição menor e concentrada na região norte (Figura 1).

Figura 1: Ocorrência das espécies analisadas



Fonte: LOGSDON et al., (2008); Re flora (2025).

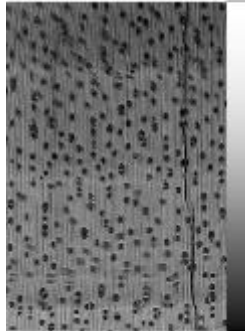
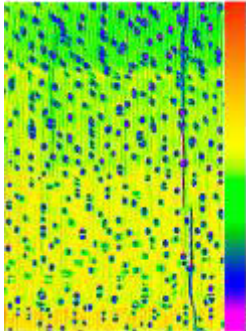
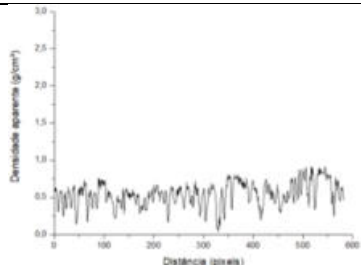
Os valores médios de densidade aparente obtidos por densitometria de raio-X variaram entre as quatro espécies analisadas (Tabela 2). A Muiracatiara apresentou a maior densidade aparente (0,967 g.cm³), seguida pela Garapeira (0,831 g.cm³), Gitó (0,753 g.cm³) e Cedro-rosa (0,542 g.cm³). A diferença entre a espécie mais densa (Muiracatiara) e a menos densa (Cedro-rosa) foi de 0,425 g.cm³, equivalente a um incremento de 78,4%.

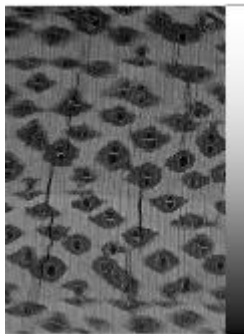
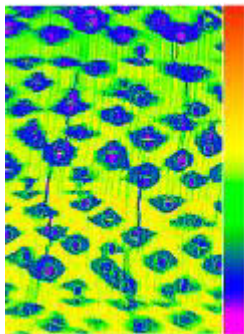
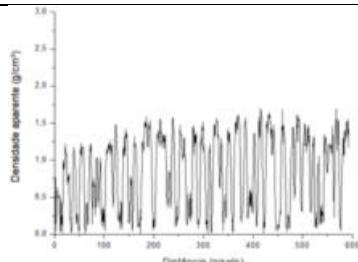
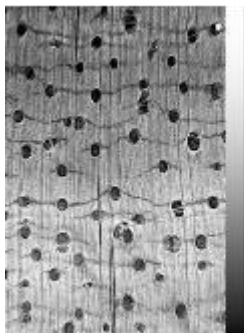
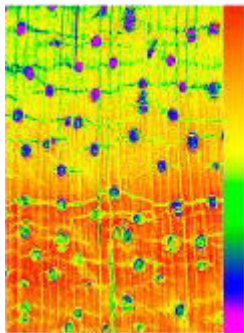
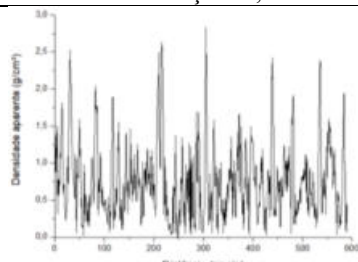
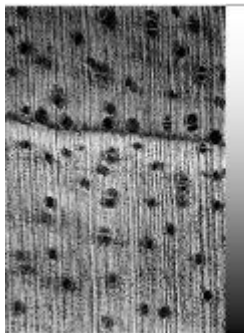
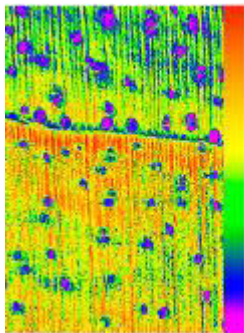
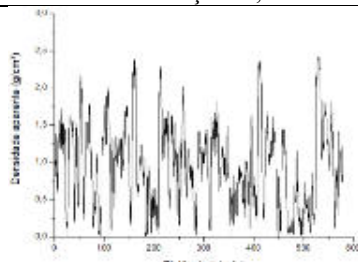
A variabilidade intrínseca dos dados, expressa pelo desvio padrão, também diferiu entre as espécies. O Cedro-rosa exibiu a menor dispersão (0,160), sugerindo maior homogeneidade em sua densidade aparente. Em contraste, a Muiracatiara registrou a maior variabilidade (0,565), seguida pelo Gitó (0,516) e Garapeira (0,494).

Esses resultados evidenciam uma ampla heterogeneidade nas propriedades físicas das madeiras estudadas, indicando que fatores como heterogeneidade anatômica ou variações na porosidade podem influenciar distintamente cada espécie.

De forma a facilitar a visualização da variação de densidade aparente nas imagens de raios-x, a escala de cinza foi convertida em escala de cores, variando do vermelho para a maior densidade ao magenta, para a menor densidade. É possível observar a menor densidade nos poros, que são células especializadas no transporte de água, e, portanto, são espaços vazios. Também é possível observar a menor densidade do parênquima, principalmente evidenciado pelo parênquima paratraqueal que aparece principalmente na cor azul.

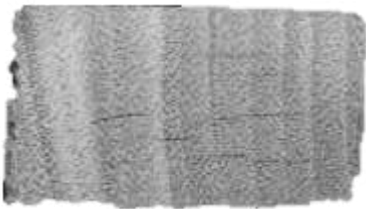
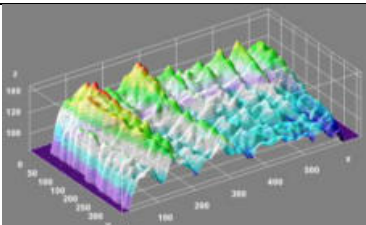
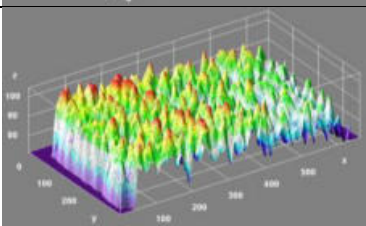
Tabela 2: Imagens de raios-x e variações de densidade aparente na escala de cinza e de cores, e perfil densitométrico de raios-x

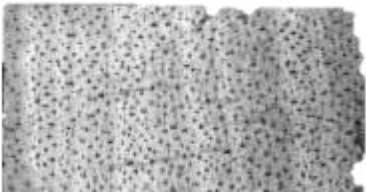
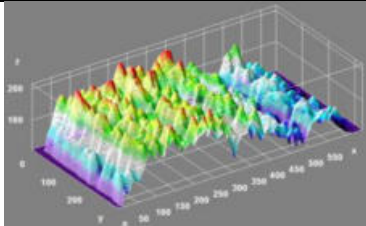
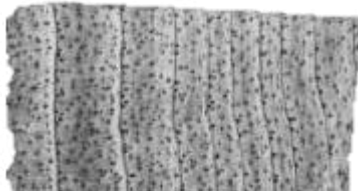
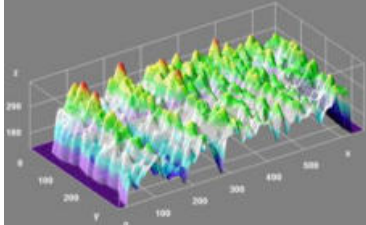
	Raio-x (escala de cinza)	Raio-x (escala de cores)	Perfil densitométrico				
Cedro-rosa	 0,914 g cm³ 0,034 g cm³	 0,914 g cm³ 0,034 g cm³	 <table border="1" data-bbox="1125 1912 1319 1973"><tr><td>Média</td><td>σ</td></tr><tr><td>0,542</td><td>0,160</td></tr></table> R² da calibração: 0,9943	Média	σ	0,542	0,160
Média	σ						
0,542	0,160						

Garapeira	 1,699 g/cm³ 0,009 g/cm³	 1,699 g/cm³ 0,009 g/cm³	 <table data-bbox="1128 474 1318 542"><tr><th>Média</th><th>σ</th></tr><tr><td>0,831</td><td>0,494</td></tr></table> R² da calibração: 0,9910	Média	σ	0,831	0,494
Média	σ						
0,831	0,494						
Gitó	 2,832 g/cm³ 0,001 g/cm³	 2,832 g/cm³ 0,001 g/cm³	 <table data-bbox="1128 835 1318 902"><tr><th>Média</th><th>σ</th></tr><tr><td>0,753</td><td>0,516</td></tr></table> R² da calibração: 0,9904	Média	σ	0,753	0,516
Média	σ						
0,753	0,516						
Muiracatiara	 2,314 g/cm³ 0,003 g/cm³	 2,314 g/cm³ 0,003 g/cm³	 <table data-bbox="1128 1196 1318 1263"><tr><th>Média</th><th>σ</th></tr><tr><td>0,967</td><td>0,565</td></tr></table> R² da calibração: 0,9875	Média	σ	0,967	0,565
Média	σ						
0,967	0,565						

Para representar espacialmente a variação da densidade aparente, foi elaborada uma superfície 3D a partir da imagem de raio-x de cada espécie. As imagens geradas permitem a variação da densidade, principalmente os anéis de crescimento da madeira (Tabela 3).

Tabela 3: Representação 3D da densidade aparente das amostras de madeira

	Raio-x	3D
Cedro-rosa		
Garapeira		

Gitó		
Muiracatiara		

Entre as espécies estudadas, foram encontrados valores de densidade obtidos por densitometria de raios-X para o Cedro-rosa, sendo o valor neste estudo ($0,542 \text{ g/cm}^3$) ligeiramente superior ao registrado por Silva (2016) ($0,529 \text{ g/cm}^3$). Esta espécie também foi utilizada por Rodriguez et al. (2023), que estudaram as mudanças climáticas de uma região da floresta amazônica utilizando, entre outras técnicas, a densitometria de raios-X, com o objetivo de fornecer novos registros com sensibilidade climática precisa para previsão local e regional de processos climáticos.

4. CONCLUSÃO

Foi possível obter a densidade aparente das espécies estudadas por meio da densitometria de raio-x. A Muiracatiara apresentou a maior densidade aparente ($0,967 \text{ g.cm}^3$) e o maior desvio padrão da média ($0,565$), enquanto o Cedro-rosa teve a menor ($0,542 \text{ g.cm}^3$) e a menor desvio padrão ($0,160$), o que demonstra a grande variabilidade das espécies madeireiras nativas.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, FAPEMIG, CNPq, ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) e ao Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) da Universidade Federal de Viçosa, e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal (PPGCF-UFV).

REFERÊNCIAS

BFG (THE BRAZIL FLORA GROUP). Flora do Brasil 2020. dspace.jbrj.gov.br, 1 fev. 2021.

BRAGA JÚNIOR, M. M.; MATOS, T. S.; ANDRADE, G. M. DE; FERREIRA, P. DA S.; SILVA, M. C. F.; SOUZA, F. I. B. DE; MELO, L. E. DE L. Technological properties of woods used in boat's production in the Southeast of Pará, Brazil. *Rodriguésia*, v. 71, 1 jan. 2020.

CASTRO, V. R.; SURDI, P. G.; SETTE JUNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAIX, G.; LACLAU, J. Efeito da aplicação do potássio, do sódio e da disponibilidade hídrica na densidade aparente a 12% de umidade do lenho juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. *Ciencia Florestal*, v. 27, n. 3, p. 1017–1027, 31 ago. 2017.

FARIAS, D. T. DE; MELO, R. R. Propriedades físicas da madeira de cinco espécies nativas da caatinga. *Advances in Forestry Science*, v. 7, n. 3, p. 1147–1152, 3 nov. 2020.

GAO, S.; WANG, X.; WIEMANN, M. C.; BRASHAW, B. K.; ROSS, R. J.; WANG, L. A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. *Annals of Forest Science*, v. 74, n. 2, 22 mar. 2017.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1983) Informações sobre madeiras.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; PENNA, E. S. Caracterização físico-mecânica da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae). *Sci. For.*, v. 36, n. 77, 1 mar. 2008.

ORTEGA RODRIGUEZ, D. R.; SÁNCHEZ-SALGUERO, R.; HEVIA, A.; GRANATO-SOUZA, D.; CINTRA, B. B. L.; HORNINK, B.; ANDREU-HAYLES, L.; ASSIS-PEREIRA, G.; ROIG, F. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Climate variability of the southern Amazon inferred by a multi-proxy tree-ring approach using *Cedrela fissilis* Vell. *Science of The Total Environment*, v. 871, p. 162064, maio 2023.

Reflora - Herbário Virtual. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>

SANTOS, L. DE J. DOS; SOUZA, L. V.; ANDRADE, G. M. DE; MATOS, T. S.; BRAGA JÚNIOR, M. M.; MANAÇAS, M. E. A.; GONTIJO, A. B.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; MOTTA, J. P.; MELO, L. E. DE L. Use of wood by indigenous peoples of the Eastern Amazon, Brazil. *IAWA Journal*, v. 43, n. 4, p. 448–468, 21 jun. 2022.

SILVA, C. E. S. da. Análise não destrutiva da qualidade da madeira de *Cedrela fissilis* Vell. proveniente de restauração florestal no estado de São Paulo. 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. DO. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. *Ciências Florestais*, v. 43, n. 2, p. 179–184, 1 jun. 2013.

ESTIMATIVA DE LIGNINA E EXTRATIVOS EM *EUCALYPTUS* COM EQUIPAMENTO NIR PORTÁTIL

Luíza Mendonça Bonfim Tavares^{1*}; Paulo Ricardo Gherardi Hein¹; Vanuzia Rodrigues Fernandes Ferreira¹; Caio Palmeira Goulart¹; Fernando José Borges Gomes²

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

² Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): luhmibt@gmail.com

Resumo: Com o aumento da demanda por produtividade no setor florestal, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem se destacado como uma técnica promissora para o monitoramento das propriedades da madeira. Esse controle é indispensável nas fábricas de celulose, pois permite uma gestão mais eficiente da carga alcalina no processo de polpação, melhorando a qualidade do produto final. A técnica NIR baseia-se na interação da radiação eletromagnética com as ligações químicas do material, gerando picos de reflectância para diferentes compostos orgânicos. Este estudo avaliou o uso de um equipamento NIR portátil para estimar os teores de lignina e extrativos em *Eucalyptus*, a partir de amostras de clones de duas empresas. A regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R) foi aplicada para construir modelos de predição. A análise espectral permitiu identificar picos característicos de cada componente químico da madeira. Aplicação de tratamentos matemáticos aos espectros brutos – corrigindo ruídos e imperfeições – foi fundamental para destacar as regiões espectrais mais informativas, essenciais à modelagem. Os modelos foram validados por dois métodos: (1) com dados externos; (2) calibração com 70% dos dados e validação com 30%. Os valores para o teor de extrativo foram observados na validação com dados externos ($R^2 = 0,737$). Para o teor de lignina, o modelo 70%/30% obteve R^2 de 0,713. Dessa forma, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), utilizando equipamento portátil, demonstra bom potencial para predição rápida dos componentes químicos da madeira, além de se mostrar vantajosa para aplicações industriais, pois permite a caracterização química em tempo real.

Palavras chave: Equipamento NIR portátil; componentes químicos; modelos de predição; qualidade da madeira.

ESTIMATION OF LIGNIN AND EXTRACTIVE CONTENTS IN *EUCALYPTUS* USING A HANDHELD NIR SPECTROMETER

Abstract: With the increasing demand for productivity in the forestry sector, near-infrared (NIR) spectroscopy has emerged as a promising technique for monitoring wood properties. This control is essential in pulp mills, as it allows for more efficient management of the alkaline load during the pulping process, improving the final product quality. NIR spectroscopy is based on the interaction of electromagnetic radiation with the chemical bonds in the material, generating reflectance peaks for different organic compounds. This study evaluated the use of a portable NIR device to estimate lignin and extractive contents in *Eucalyptus*, using samples from clones provided by two companies. Partial least squares regression (PLS-R) was applied to build predictive models. Spectral analysis allowed the identification of characteristic peaks for each chemical component of the wood. Application of mathematical treatments to the raw spectra –correcting noise and imperfections- was essential for highlighting the most informative spectral regions crucial for modeling. The models were validated using two approaches: (1) with external data; and (2) calibration with 70% of the data and validating it with the remaining 30%. The results for extractive content were obtained with external data

validation ($R^2 = 0.737$). For lignin content, the 70%/30% model yielded an R^2 of 0.713. Thus, near-infrared (NIR) spectroscopy using a portable device shows strong potential for the rapid prediction of wood chemical components. Additionally, it proves advantageous for industrial applications, as it allows real-time chemical characterization.

Keywords: Handheld NIR spectrometer; chemical components; predictive models; wood quality.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca na produção de florestas plantadas, especialmente de eucalipto, que ocupa 7,8 milhões de hectares e é fundamental na economia florestal, atendendo indústrias de celulose e papel (IBÁ, 2024). A composição química da madeira, apresenta variações influenciadas por fatores ambientais e genéticos (GMACH, 2024; MANCINI, 2021), tornando essencial o seu estudo para garantir a qualidade da matéria-prima na indústria. Que impacta diretamente a produção e o padrão da polpa celulósica (ZHANG, 2022; SIMÕES, 2022).

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), uma técnica rápida, não destrutiva e de baixo custo, permite a obtenção de informações em tempo real e com alta reprodutibilidade (GOMES, 2024; SIMÕES, 2022). Essa técnica é baseada na espectroscopia vibracional, que expõe as amostras à radiação eletromagnética a um comprimento de onda de 950 a 2.500 nm e gera espectros de absorbância (MUÑIZ, 2012), que são analisados para desenvolver modelos preditivos. Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos para estimar o teor de extrativos e lignina em *Eucalyptus* a partir de equipamento NIR portátil e validar esses modelos em lotes independentes e externos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido com dois lotes: Lote 1) Clones de *Eucalyptus* spp. coletadas de 100 talhões, com 3 árvores amostradas em cada talhão. Lote 2) Clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* com quatro clones diferentes (A, B, C, D) em quatro arranjos de espaçamento (3x1, 3x2, 3x3 e 3x4), sendo coletadas três árvores por espaçamento.

As amostras de ambos lotes foram reduzidas a cavacos, moídas em moinho Wiley e a serragem entre malhas 40 e 60 mesh foi selecionada. No lote 1, o extrativo total foi determinado conforme TAPPI T 204 cm-97 (1997), lignina Klason conforme TAPPI T 222 om-98 (1998), lignina solúvel conforme TAPPI UM 250, e lignina total pela soma das duas. No lote 2, os extrativos seguiram a norma ASTM D1107-96 (ASTM 2013), a lignina insolúvel conforme o método Klason, lignina solúvel por espectrometria e lignina total pela soma das duas. As amostras foram investigadas em Pimenta et al. (2024). Foram analisadas 2g de serragem por leitura, utilizando o MicroNIR (Viavi Solutions Inc., CA, Estados Unidos), configurado no modo de reflectância, com faixa espectral de 887 a 1.650 nm, com resolução de 6 nm, gerando 125 variáveis espectrais.

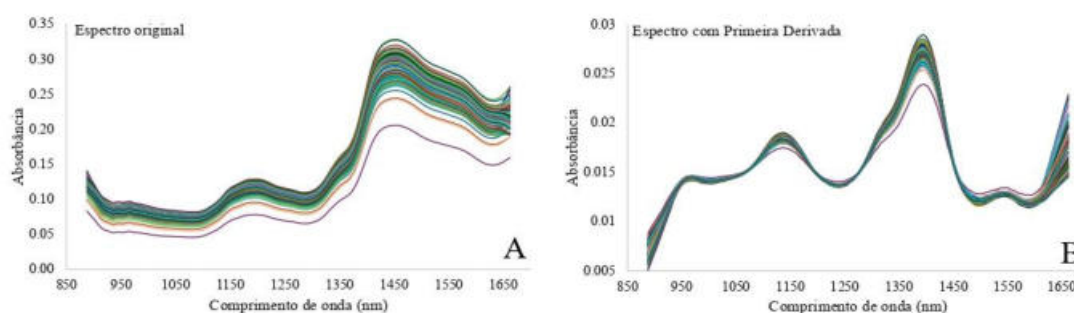
A análise foi feita no software Chemoface, versão 1.66 (Nunes et al., 2012), com regressão de mínimos quadrados parciais (PLS-R), utilizando validação cruzada (leave-one-out) e validação independente (test set). Na validação independente, os espectros foram divididos em: (1) validação externa (lote 2); (2) calibração com 70% dos dados e validação com 30% (lote 1). Os dados foram analisados com e sem tratamento, aplicando Multiplicative Scatter Correction (MSC) e Standard Normal Variate (SNV), com e sem a presença de outliers.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Assinaturas espectrais no NIR

As assinaturas espectrais coletadas das amostras no equipamento são apresentadas na Figura 1. Os espectros brutos apresentam ruídos e imperfeições, os quais foram corrigidos por meio de tratamentos matemáticos (PIMENTA, 2024), conforme demonstra a Figura 1b. Após o tratamento, houve melhora na redução dos ruídos e na identificação das regiões mais informativas dos espectros, essenciais para a calibração dos modelos. A absorbância variou entre 0,029 e 0,005. com os principais picos de absorbância localizados na faixa de 1.136 nm e 1.390 nm. Bandas na faixa de 1.000 nm até 1.300 nm podem estar associadas a absorção de ligações C-O de alcoóis, éteres, ésteres, ácidos carboxílicos e anidros, enquanto bandas na faixa de 1.390 nm podem estar associadas a grupos isolados de OH e combinação de ligações C-H (SCHWANNINGER, 2011).

Figura 1: Espectros NIR com equipamento portáteis



3.2. Análise de regressão dos mínimos quadrados parciais

A análise de regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS-R) foi realizada para ajustar modelos preditivos dos teores de extrativos e lignina. Após a seleção dos melhores modelos referente à calibração, estes foram submetidos a validação externa. Para predição do teor de lignina, a validação do tipo 70%/30% apresentou os melhores resultados. O modelo 10 apresentou um R^2_{pred} de 0,713 e um RMSEp de 0,444, sendo utilizado 10 variáveis latentes. Já para a predição do teor de extrativo, a validação com dados externos obteve R^2_{pred} mais alto (0,737) porém um RMSEp de 6,541, utilizando-se 10 variáveis latentes, comparando com a validação do tipo 70%/30%. Baldin et al. (2020) e Miranda et al. (2024) atribuem essa dificuldade à baixa proporção de extrativos na madeira, bem como à sua grande variabilidade entre diferentes espécies de eucalipto.

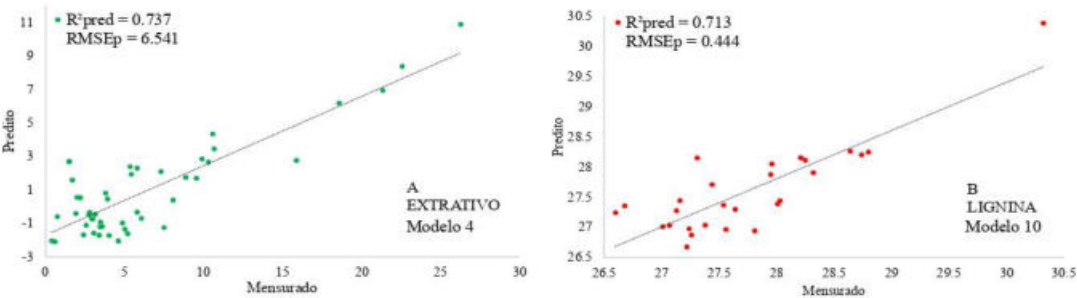
Tabela 1: Parâmetros estatísticos dos modelos PLS-R escolhidos

Modelo	Tipo de validação	Componente	Tratamento	Nº de outlier	R^2_{pred}	RMSEp	LV
4	Externa (lote 2)	Extrativo	SNV	0	0,737	6,541	10
10		Lignina	MSC S/ out.	3	0,126	6,8	10
4	70%/30% (lote 1)	Extrativo	SNV	0	0,494	0,660	10
10		Lignina	MSC S/out.	3	0,713	0,444	10

R^2_{pred} - coeficiente de determinação para validação externa; RMSEp- raiz do erro quadrático médio para validação externa; LV- variável latente; SNV- variável normal padrão; MSC S/out.- correção multiplicativa de espalhamento sem outlier.

A Figura 2a e 2b representam os gráficos das validações dos modelos para prever o teor de extrativo e lignina. A correlação das propriedades foi realizada com os valores determinados em laboratório e previstos com a tecnologia NIR.

Figura 2: Gráficos das validações externas PLS-R dos modelos escolhidos para prever teores de extrativo e lignina

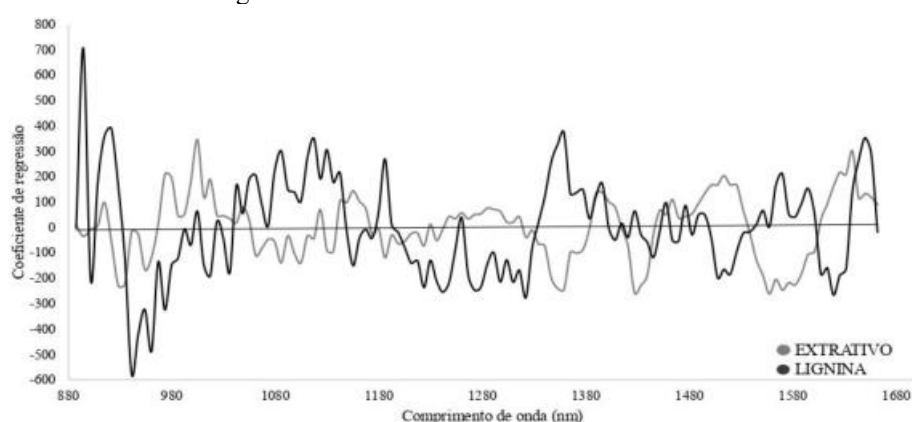


3.4. Análise dos coeficientes de regressão

Na Figura 7 (extrativos), os picos mais significativos estão em 928 a 941, 1.358, 1.395, 1.427, 1.457 e 1.655 nm. Na Figura 7 (lignina), aparecem em 901 a 960, 1.186, 1.395 e 1.637 nm. Conforme indicado por Heim et al. (2023) e Schwanninger et al. (2011), os picos entre 950 e 980 nm a presença de extrativos e lignina podem estar relacionados à cor amarelo-marrom da madeira. Os picos entre 1.100 e 1.195 nm associam-se à lignina, devido aos grupos CH_3 e estruturas aromáticas. A faixa de

1.310 a 1.350 nm está ligada a todos os componentes da madeira pós-acetilação. Já entre 1.420 e 1.460 nm, a grupos hidroxila fenólicos, comuns em extrativos. Picos entre 1.610 e 1.650 nm relacionam-se ao primeiro overtone dos extrativos; e entre 1.672 e 1.677 nm, a grupos aromáticos e CH aromáticos da lignina. A semelhança entre moléculas de extrativos e os monômeros da lignina dificulta a distinção espectral. Contudo, é possível notar diferenças nos coeficientes de regressão, especialmente entre 1.000 a 1.300 nm, região de vibrações C–O de éteres (Paiva et al., 2015), mais abundantes na lignina, pois as unidades monoméricas de fenilpropanóides se ligam por esse tipo de ligação, além das interações C-C. Isso explica a maior intensidade de picos de lignina em comparação com os de extrativos. Os picos também indicam a presença de extrativos como terpenos (914–1.000, 1.155, 1.400, 1.600 nm), alcalóides (1.155, 1.400, 1.620 nm), flavonas (1.100, 1.500, 1.620 nm), cumarinas (~1.400 nm) e fenilalaninas (~1.150 nm) (MA, 2019).

Figura 3: Gráficos do coeficiente de regressão



4. CONCLUSÃO

Os modelos PLS-R desenvolvidos com espectros NIR apresentaram R^2 de 0,737, RMSEP de 6,541 para extrativos. Enquanto para lignina, obteve-se R^2 de 0,713 e RMSEP de 0,444. Confirmando que modelos apresentaram eficiência na predição desses componentes em *Eucalyptus*. Além disso, o uso de equipamento portátil demonstrou ser promissor, dado seu custo mais acessível e sua portabilidade, em comparação com equipamentos de bancada, favorecendo sua aplicação e implementação nas indústrias.

REFERÊNCIAS

BALDIN, Talita et al. Modelos NIRS para as características químicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-9, 2020.

GOMES, Jhenyfer Nayara Nogueira et al. Estimation of energy properties of wood from Brazilian Cerrado biome by NIR spectroscopy. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, p. 1-10, 2024.

GMACH, Franciele et al. Performance of visible and Near-infrared spectroscopy to predict the energetic properties of wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, v. 26, 2024.

HEIM, Lucie et al. NIR-hyperspectral camera analyses for differencing agroforestry and forestry poplar woods. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 8, p. 1557-1569, 2023.

IBÁ, RELATÓRIO ANUAL. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual de 2024**.

MA, Lijuan et al. Descoberta sistemática sobre a atribuição espectral NIR de propriedade estrutural química a compostos químicos naturais. **Relatórios científicos**, v. 9, n. 1, p. 9503, 2019.

MANCINI, Luana Teixeira et al. Estimation of total extractive content of wood from planted and native forests by near infrared spectroscopy. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 14, n. 1, p. 18, 2021.

MIRANDA, Leticia et al. Phenotyping wood properties of *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus dunnii* based on NIR spectra. **Wood Material Science & Engineering**, v. 19, n. 1, p. 102-111, 2024.

MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de et al. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 865-875, 2012.

NUNES, Cleiton A. et al. **Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics**. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 2003-2010, 2012.

PAIVA, Donald L. et al. Introdução À Espectroscopia: Tradução da 5ª Edição Americana. 2015.

PIMENTA, Emanuella Mesquita et al. Validation of models using near-infrared spectroscopy to estimate basic density and chemical composition of *Eucalyptus* wood. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 17, n. 6, p. 338, 2024.

SCHWANNINGER, Manfred; RODRIGUES, José Carlos; FACKLER, Karin. Uma revisão das atribuições de banda em espectros de infravermelho próximo de madeira e componentes de madeira. **Jornal de Espectroscopia de Infravermelho Próximo**, v. 19, n. 5, p. 287-308, 2011.

SIMÕES, R. et al. Prediction of the extractives content of *Eucalyptus globulus* wood using NIR-based PLS-R models. Influence of spectral range and preprocessing on the percentage of outliers detected. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 42, n. 5, p. 352-360, 2022.

ZHANG, Xiaoxue et al. Transfer of a calibration model for the prediction of lignin in pulpwood among four portable near infrared spectrometers. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 30, n. 4, p. 208-218, 2022.

ESPECTROSCOPIA NIR PARA ESTIMAR A UMIDADE EM TORAS DE *Eucalyptus* sp. PARA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL EM PÁTIOS INDUSTRIAIS

Caio Palmeira Goulart^{1*}; Luiza Mendonça Bonfim Tavares¹; Paulo Ricardo Gherardi Hein¹

¹ Departamento de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

*Caio Palmeira Goulart (e-mail): cpalmeiragoulart@gmail.com

Resumo: A umidade influencia os procedimentos operacionais no processamento da madeira. O método gravimétrico é amplamente utilizado para sua determinação, porém é moroso. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) surge como alternativa rápida e precisa para estimar propriedades físicas e químicas de materiais orgânicos, incluindo a madeira. Este estudo visou desenvolver uma metodologia para monitorar a variação de umidade em toras empilhadas no campo utilizando espectrômetros portáteis. Amostras de serragem foram coletadas de toras de *Eucalyptus* sp. recém-abatidas por meio de furadeira portátil com diferentes brocas, sendo classificadas por granulometria e analisadas em laboratório para coleta de espectros e determinação da umidade. Discos retirados das toras também foram seccionados em cunhas para medição da umidade real e coleta espectral. Os dados subsidiaram a calibração e validação de modelos preditivos via regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R). A secagem das toras foi acompanhada por coletas espectrais e determinação da umidade da madeira em intervalos de 15 dias até o equilíbrio higroscópico. Espectros foram obtidos com os dispositivos MicroNIR e TrinamiX, da condição saturada até a de equilíbrio. Os modelos apresentaram alto desempenho: $R^2_{cv} = 0,9662$ (MicroNIR) e $R^2_{cv} = 0,9045$ (TrinamiX). Observou-se forte correlação entre a umidade da cunha e da serragem, validando esses materiais como indicadores confiáveis. Os espectros NIR demonstraram eficácia na estimativa da umidade da madeira em tempo real, com potencial para otimizar processos industriais em larga escala e garantir maior qualidade dos produtos por meio do monitoramento prévio da umidade.

Palavras chave: Indústria Madeireira; Umidade da Madeira; Espectroscopia NIR; Madeira Serrada.

NIR SPECTROSCOPY TO ESTIMATE MOISTURE IN *Eucalyptus* sp. LOGS FOR OPERATIONAL OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL YARDS

Abstract: Moisture is a key physical property of wood, influencing its performance during industrial processing. Although the gravimetric method is widely used for determining moisture content due to its accuracy, it is time-consuming. Near-infrared (NIR) spectroscopy has emerged as a fast and precise alternative for estimating physical and chemical properties of organic materials, including wood. This study aimed to develop a practical methodology for applying NIR to monitor moisture variation in stacked logs using portable spectrometers. Sawdust samples were collected from freshly felled *Eucalyptus* sp. logs using a portable drill with various bits, classified by particle size, and analyzed in the lab for spectral data and gravimetric moisture content. Additionally, wood disks were extracted and cut into wedges for gravimetric moisture analysis and NIR spectra acquisition. These data supported calibration and validation of predictive models using partial least squares regression (PLS-R). Log drying was monitored by collecting spectra and moisture data from both wedges and sawdust at 15-day intervals until hygroscopic equilibrium. Spectra were obtained with MicroNIR and TrinamiX devices from saturated to equilibrium conditions. Principal component analysis (PCA) was used to evaluate spectral data. The models showed high performance: $R^2_{cv} = 0.9662$ (MicroNIR) and $R^2_{cv} = 0.9045$ (TrinamiX). A strong correlation between wedge and sawdust moisture confirmed the reliability of these indicators. NIR spectra effectively estimated wood moisture in real time from

sawdust. This method can support large-scale industrial optimization, ensuring higher product quality through pre-process moisture monitoring.

Keywords: Predictive Model; Wood Moisture; NIR Spectroscopy.

1. INTRODUÇÃO

A umidade da madeira afeta seu comportamento no decorrer de processamentos, secagem e preservação, além de afetar outras propriedades, como sua estabilidade dimensional. Na indústria madeireira, é essencial monitorar as mudanças na umidade durante a secagem, etapa fundamental na fabricação da maioria dos produtos. Métodos precisos para monitoramento e controle adequado deste parâmetro são, portanto, fundamentais para obtenção de produtos de qualidade superior (Baliza et al., 2022).

Dessa forma, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é uma ferramenta viável para tais aplicações, pois trata-se de uma técnica não destrutiva, que requer preparação mínima de amostras e utiliza radiação com alta penetração (Su et al., 2022). Os espectros no NIR correlacionam-se com informações dos constituintes e propriedades do material e, quando combinados com análises multivariadas, pode-se obter modelos estatísticos que estimam parâmetros de interesse (Amaral et al., 2020). Segundo Sandak et al. (2016), a análise de componentes principais (PCA) é a mais comumente utilizada para avaliação qualitativa dos espectros, enquanto a regressão de mínimos quadrados parciais (PLS-R) é usada para fins quantitativos.

A técnica NIR consiste em expor o espécime à radiação da região do infravermelho próximo. Os espectros gerados contêm dados dos constituintes químicos do material que, quando relacionados aos resultados das análises convencionais, formam modelos estatísticos capazes de explicar a maioria das informações contidas nos espectros (Price et al., 2001; Pavia et al., 2010; Pasquini, 2018). A partir desses modelos, é possível estimar diversas propriedades de materiais biológicos, como a madeira (Dahlbacka e Lillhonga, 2010; Arriel et al., 2019; Tyson et al., 2012; Tsuchikawa e Schwanninger, 2013; Tsuchikawa e Kobori, 2015).

Muitos estudos indicam que a espectroscopia NIR é adequada para estimar a umidade da madeira. Destacam-se o desenvolvimento de modelos para madeira de eucalipto (Santos et al., 2020), o uso de NIR portátil adaptado para uso em linha comparado com modelos preditivos convencionais (Leoni et al., 2024), monitoramento do comportamento hidromecânico da madeira durante a secagem com NIR e análise de imagens (Amaral et al., 2023), além do acompanhamento da dessorção de água de polpa de celulose por espectroscopia NIR (Medeiros et al., 2023).

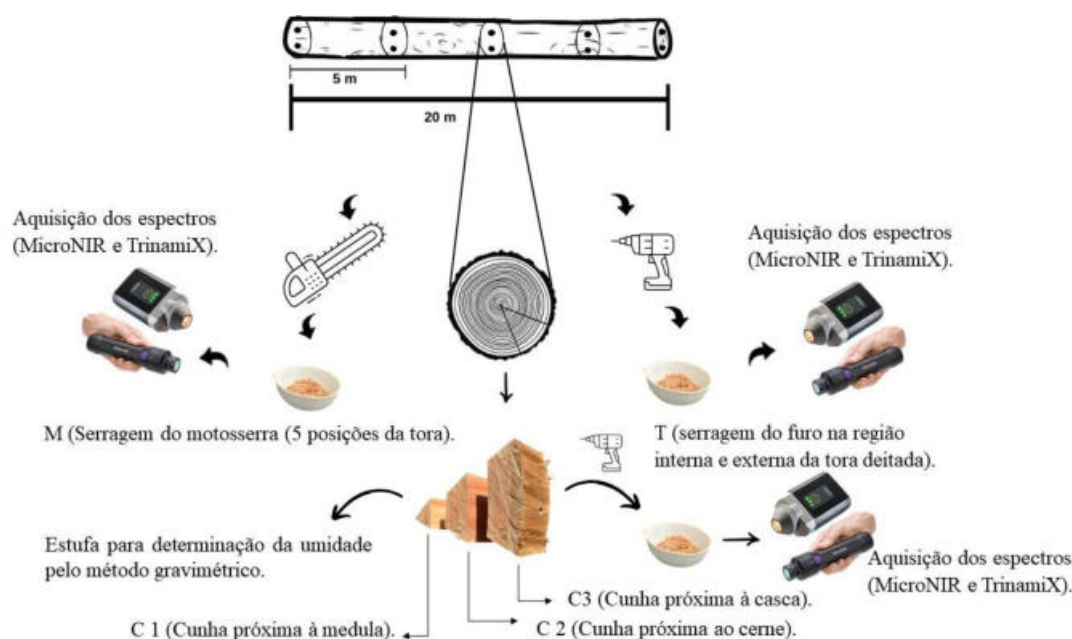
Apesar desses avanços, a maioria dos estudos foi conduzida em condições laboratoriais. Ainda é necessário desenvolver uma metodologia prática para aplicação do NIR em campo, especialmente com equipamentos portáteis. As informações disponíveis são úteis para ambientes controlados, mas não está claramente compreendido se a aquisição espectral da serragem retirada de toras recém abatidas, ou em processo de secagem, por furadeira ou motosserra, tem potencial para monitorar a umidade da madeira em tempo real. Considerando essa lacuna, destaca-se a importância da presente pesquisa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas árvores de *Eucalyptus* sp. provenientes do plantio florestal experimental da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Minas Gerais. Foi realizado um pré-teste no qual foram

utilizadas três brocas (1/2" x 11", 5/16" x 11" e 3/4" x 11") para retirada da serragem em cinco posições do fuste, a cada 5 m e a 30 cm das bordas (Figura 1). As diferentes brocas foram utilizadas a fim de avaliar a melhor granulometria e a praticidade da coleta. A broca menor apresentou maior praticidade e produziu um material mais homogêneo, facilitando a coleta espectral. Em seguida, foram retirados discos das mesmas extremidades de coleta de serragem, com auxílio de motosserra. Os discos foram subdivididos em 3 partes (externo, intermediário e interno) a fim de observar a variação de umidade no sentido medula-casca.

Figura 1: Esquema de desenvolvimento do trabalho.



A umidade da madeira foi determinada durante etapas da secagem das toras, utilizando o método gravimétrico de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2003). Com isso, a cada coleta foram secas 3 cunhas por disco, sendo um total de 5 discos, em estufa a 105 ± 2 °C até massa constante, para comparação com coletas dos espectros. A coleta será realizada até as toras do pátio de secagem atingirem a umidade de equilíbrio (aproximadamente 12%).

Os espectros NIR foram registrados a partir de dois equipamentos portáteis: MicroNIR e TrinamiX.

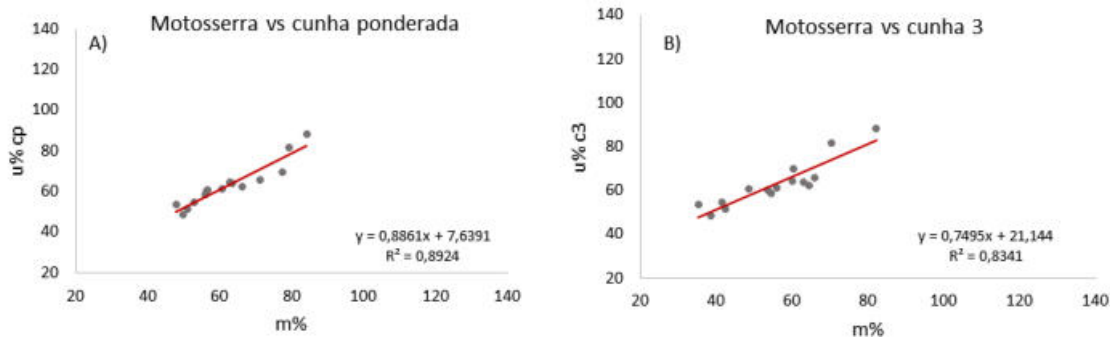
O processamento dos dados foi realizado no Chemoface 9.61 (Nunes et al., 2012), aplicando-se a análise de componentes principais (PCA). Os espectros foram analisados em sua forma original e com primeira derivada (15 pontos de alisamento, polinômio de 2º grau). A modelagem preditiva foi feita por regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R), relacionando os espectros com a umidade obtida em laboratório. Utilizou-se validação cruzada e independente, e os modelos foram calibrados comparando os valores espectrais com os convencionais. Os parâmetros de avaliação dos modelos foram R^2_c , $RMSE_c$, R^2_{cv} e $RMSE_{cv}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que os métodos de obtenção da umidade foram executados com sucesso, visto que todas as correlações obtiveram alta consistência. As mudanças descritas que ocorreram são naturais, de modo que a técnica é capaz de descrever os detalhes mínimos do processo de secagem,

mantendo sua confiabilidade e importância no condicionamento da madeira ilustradas no seu uso com condições.

Figura 2- Comparação entre umidades. A- Umidade da serragem retirada pelo motosserra e cunha ponderada; B- Umidade da serragem retirada pelo motosserra e da cunha 3 (próxima a casca).



Observa-se a dispersão dos valores previstos pelo MicroNIR e Trinamix em que o modelo global com os dados brutos pelo MicroNIR apresentou R^2 de 0,9662, MSC com R^2 de 0,9413 e primeira derivada com R^2 de 0,9510 (Figura 9). Para o Trinamix, o modelo global com os dados brutos apresentou R^2 de 0,9045, MSC com R^2 de 0,8292 e primeira derivada R^2 de 0,8374. Visto isso, todos os modelos se apresentaram bons, sendo o melhor, representado pelo gráfico do modelo global do MicroNIR (Tabela 1).

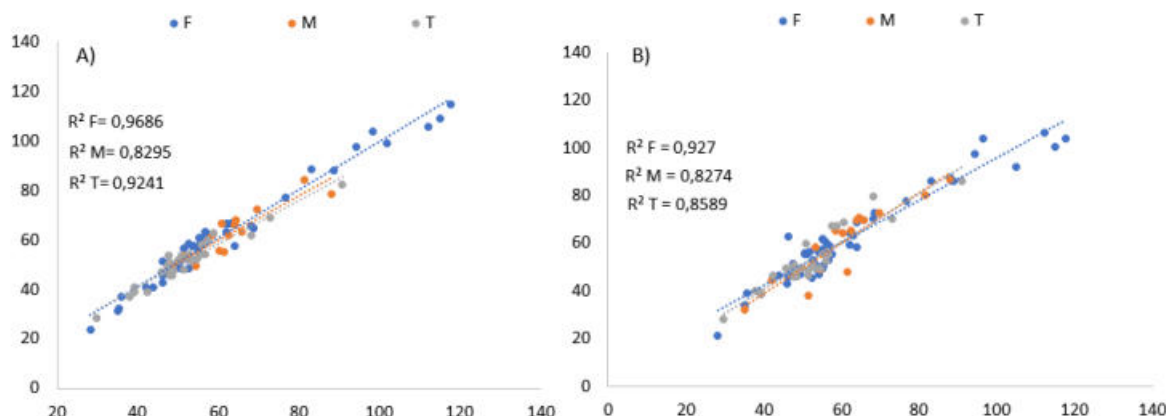
Trabalho semelhante, realizado por Amaral *et al.* (2020) a fim de estimar umidade de cavacos de eucalipto, indicaram que a espectroscopia NIR associada à análise multivariada teve potencial de estimar a umidade da madeira em cavacos de eucalipto. O modelo desenvolvido a partir de espectros registrados na face longitudinal pelo método da esfera integradora apresentou estatística ligeiramente melhor ($R^2cv = 0,96$) do que o modelo baseado em sonda de fibra óptica ($R^2cv = 0,90$).

Tabela 1- Calibrações e validações cruzadas para estimar a umidade da madeira com base em espectros NIR.

Modelo	Trat	Aquisição	R ² c	RMSEc	R ² cv	RMSEcv	LV	RPD
1	Dados brutos	MicroNIR	0,9662	3,1470	0,9370	4,2989	10	4,0643
2	MSC	MicroNIR	0,9413	4,1461	0,9127	5,0635	8	3,4371
3	1ª derivada	MicroNIR	0,9510	3,7958	0,9276	4,6097	7	3,7851
4	Dados brutos	TrinamiX	0,9045	5,3002	0,8735	6,0925	6	2,8740
5	MSC	TrinamiX	0,8292	7,0761	0,7817	8,0231	5	2,1880
6	1ª derivada	TrinamiX	0,8374	6,9566	0,7911	7,8402	4	2,2452

A Figura 3 apresenta a regressão de cada tratamento (serragem do furo na cunha, do motosserra e da tora deitada). A partir dele é possível observar que caso seja utilizado apenas uma metodologia na coleta da serragem, o espectro NIR também se mostra efetivo, apresentando R^2 elevados com forte correlação entre as variáveis.

Figura 3- Regressão dos valores de umidade obtidos por MicroNIR e TrinamiX. F (furo na tora) M (motosserra) e T (tora deitada). A- MicroNIR; B-TrinamiX.



4. CONCLUSÃO

A umidade da cunha e da serragem dos furos mostrou forte correlação, indicando que podem ser indicadores confiáveis de umidade da madeira. Os espectros NIR obtidos pelos dispositivos MicroNIR e TrinamiX permitiram estimativas precisas e em tempo real, com destaque para o MicroNIR. A PCA evidenciou diferenças entre os métodos de coleta, sendo a serragem por furadeira a mais homogênea. Os modelos PLS-R apresentaram boa precisão, confirmando o potencial do NIR portátil como ferramenta eficiente para predição rápida da umidade em madeira de *Eucalyptus*.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. A.; BALIZA, L. F.; SILVA, C. H.; RAMALHO, F. M. G.; TRUGILHO, P. F.; SOL, H.; HEIN, P. R. G. Estimation of moisture in wood chips by Near Infrared Spectroscopy. **Maderas, Cienc. tecnol.**, Concepción, v. 22, n. 3, p. 291-302, 2020.
- ARRIEL, T.G.; RAMALHO, F.M.G.; LIMA, R.A.B.; SOUZA, K.I.R.; HEIN, P.R.G. TRUGILHO, P.F. Developing near infrared spectroscopic models for predicting density of Eucalyptus wood based on indirect measurement. **Cerne** 25(3):294-300,2019. <https://doi.org/10.1590/01047760201925032646>
- BALIZA, L. F.; SILVA, C. H. D.; AMARAL, E. A.; RAMALHO, F. M. G.; TRUGILHO, P. F.; SUN, H.; and HEIN, P. R. G. Evaluation of the spatial variation in moisture content inside wood pieces during drying by NIR spectroscopy. **Holzforschung**, 77(2), 95-105, 2023.
- DOS SANTOS, L. M.; AMARAL, E. A.; NIERI, E. M.; COSTA, E. V. S.; TRUGILHO, P. F.; CALEGÁRIO, N.; HEIN, P. R. G. Estimating wood moisture by near infrared spectroscopy: Testing acquisition methods and wood surfaces qualities. **Wood Material Science & Engineering**, 16(5), 336-343, 2021
- DAHLBACKA, J; LILLHONGA, T. Moisture measurement in timber utilising a multi-layer partial least squares calibration approach. **J Near Infrared Spec** 18(6): 425-432. 2010. <https://doi.org/10.1255/jnirs.906>.
- PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives - A review. **Anal Chim Acta** 1026(1): 8-36. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004>

PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S.; VYVYAN, J.R. Introdução a espectroscopia. 4th Ed. **Cengage Learning**: São Paulo, Brazil. 716p. 2010. <https://www.cengage.com.br/learning-solutions/introducao-a-espectroscopia-traducao-da-4a-edicao-norte-americana/>

PRICE, N.C.; DWEK, R.A.; WORMALD, M.; RATCLIFFE, R.G. Principles and problems in physical chemistry for biochemists. 3rd Ed. **Oxford University Press**: Oxford, UK. 401p. <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bmb.2002.494030030046>, 2001.

SANDAK, J.; SANDAK, A.; MEDER, R. Assessing trees, wood and derived products with near infrared spectroscopy: hints and tips. **J. Infrared Spectrosc.** 24 (6), 485–505, 2016.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **J Wood Sci** 61(3): 213-220. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1467-x>

TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part2). **Appl Spectrosc Rev** 48(7):560-587. 2013. <https://doi.org/10.1080/05704928.2011.621079>

TYSON, J.A.; SCHIMLECK, L.R.; AGUIAR, A.M.; ABAD, J.I.M.; REZENDE, G.D.S.P.; MAMBRIM, O. Development of near infrared calibrations for physical and mechanical properties of eucalypt pulps of mill-line origin. **J Near Infrared Spec** 20(2): 287-294. 2012. <https://doi.org/10.1255/jnirs.988>

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS VISANDO O SEU USO EFICIENTE

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE RESÍDUO DE CAFÉ VISANDO SUA CONVERSÃO EM POLPA CELULÓSICA

Iara Fontes Demuner^{1*}; Marcela Ribeiro Coura²; Antonio Jacinto Demuner²; Fernando José Borges Gomes³, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Departamento de Química, Universidade Federal Viçosa, Brasil.

³ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): iara.demuner@ufv.br*

Resumo: A produção de café gera grandes volumes de resíduos, chegando a 32 milhões de toneladas por ano, somente no Brasil. O pergaminho, endocarpo fibroso que envolve a semente, pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de materiais de alto valor agregado, como a polpa celulósica. Este trabalho teve como objetivo avaliar o pergaminho do fruto do café, um resíduo da indústria do café, quanto à sua composição química, bem como seu potencial para a produção de polpa kraft. O pergaminho foi caracterizado quanto ao teor de extrativos, cinzas, ácidos urônicos, grupos acetil, lignina e açúcares. Foi encontrado os valores de 38,5% para glicanas, 26,6% para xilanas e 27,1% para lignina, sendo os principais componentes da matéria-prima. O teor de extrativos foi de 4,5% e o de cinzas foi de 0,865%, bastante semelhante ao encontrado para espécies de folhosas utilizadas para produção de polpa. Com base nas características químicas da biomassa, indica que o pergaminho de café apresenta um bom potencial para a produção de polpa celulósica.

Palavras chave: Pergaminho; Polpação kraft; Sustentabilidade

CHEMICAL CHARACTERIZATION OF COFFEE WASTE FOR ITS CONVERSION INTO PULP

Abstract: Coffee production generates large volumes of waste, reaching 32 million tons per year in Brazil alone. Parchment, the fibrous endocarp that surrounds the seed, can be used as a raw material for the production of high added value materials. This study aimed to evaluate the chemical composition of coffee fruit parchment, a waste product of the coffee industry, as well as its potential for the production of kraft pulp. The parchment was characterized according to the content of extractives, ash, uronic acids, acetyl groups, lignin and sugars. The values found were 38.5% for glycans, 26.6% for xylans and 27.1% for lignin, being the main components of the raw material. The extractive content was 4.5% and the ash content was 0.865%, quite similar to that found for hardwood species used for pulp production. Based on the chemical characteristics of the biomass, it indicates that coffee parchment has good potential for the production of cellulose pulp.

Keywords: Parchment; Kraft pulping; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é a principal matéria-prima para a produção de polpa celulósica no mundo (BALKISSOON *et al.*, 2023). No entanto, a polpa também pode ser obtida de outras biomassas lignocelulósicas. Considerando que a tendência de preços da madeira é de alta e visando melhorar a competitividade das indústrias de celulose e papel, a busca por matérias-primas alternativas é uma estratégia necessária. O uso de resíduos agrícolas como matéria-prima na produção de celulose tem

se destacado devido à sua quantidade, disponibilidade e ao maior custo da madeira, especialmente em países em desenvolvimento com grande produção agrícola (BIAN *et al.*, 2019).

O café é uma das commodities agrícolas mais importantes do mundo. O Brasil é o maior produtor e exportador de grãos de café verde, seguido por Vietnã, Colômbia, Indonésia e Etiópia. A produção brasileira é de aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de grãos de café verde por ano (MARTINEZ *et al.*, 2021). No entanto, esse processamento industrial do café gera diferentes resíduos, como casca, polpa, pergaminho e película prateada.

O pergaminho, endocarpo fibroso que envolve a semente, pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de materiais de alto valor agregado (BIAN *et al.*, 2019), pois consistem principalmente de celulose, hemiceluloses e lignina. A produção de polpa química é fortemente baseada em processos alcalinos, sendo o processo kraft o mais utilizado atualmente (ZANÃO *et al.*, 2019). Uma vantagem do desse processo é a versatilidade em relação à matéria-prima utilizada. No entanto, o conhecimento da composição química da madeira ou biomassa é fundamental, pois influencia a eficiência do processo, o rendimento, o consumo de reagentes e a qualidade da polpa (XU *et al.*, 2020). Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização química do pergaminho de café, visando a sua conversão em polpa celulósica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos de café (pergaminho) da região de Santa Teresa, ES, Brasil. Os resíduos foram moídos em moinho de facas tipo Wiley® e classificados de acordo com a norma TAPPI T257cm-85. A serragem que passou pela peneira de 40 *mesh* e ficou retida na peneira de 60 *mesh* foi selecionada. A biomassa peneirada foi seca ao ar em sala climatizada (23,0 ± 1,0 °C e 50,0 ± 2,0% de umidade) para uniformidade de umidade e armazenada em sacos de polietileno.

Para a caracterização química do pergaminho, foram determinados o teor total de extrativos (TAPPI T 264 cm-97) e teor de cinzas (TAPPI T211 om-02). O teor de ácidos urônicos, grupos acetil e açúcares (glicanas, mananas, galactanas, xilanas e arabinanas) foram determinados de acordo com as normas SCOT (1979), SOLAR *et al.* (1987) e SCAN-CM 71:09, respectivamente. A lignina total foi medida pela soma de lignina solúvel em ácido (TAPPI UM250) e lignina insolúvel em ácido (TAPPI T222om-02). A relação siringil/guaiacil da lignina (relação S/G da lignina) foi determinada por oxidação com nitrobenzeno (LIN, 1992).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do pergaminho de café está apresentada na Tabela 1. ZANÃO *et al.* (2019), JARDIM *et al.* (2017) e ZANUNCIO *et al.* (2013) relataram dados de composição química para madeiras de eucalipto e/ou pinus (Tabela 1), os quais foram utilizados para comparação com o pergaminho, já que são matérias-primas amplamente utilizadas na produção de polpa celulósica.

Tabela 1: Composição química do pergaminho de café.

Parâmetros, %	Pergaminho de café	Eucalipto*	Pinus **
Extrativos totais	4,5	1,9 – 4,9	2,0
Cinzas	0,865	0,1 – 0,32	-
Ácidos urônicos	4,3	3,5 – 5,0	2,7
Grupos acetil	4,4	1,6 – 3,0	1,4
Lignina insolúvel em ácido	23,8	25,0 – 29,2	28,6
Lignina solúvel em ácido	2,1	2,9 – 4,2	0,6

Lignina total		25,9	27,1 – 31,3	29,2
	Arabinanas	0,2	0,2 – 0,3	1,3
	Galactanas	0,5	0,8 – 1,6	2,1
Açúcares	Glicanas	36,8	42,3 – 49,4	42,7
	Xilanas	20,6	9,7 – 14,1	5,9
	Mananas	0,4	0,7 – 1,4	9,7

* ZANÃO *et al.* (2019); JARDIM *et al.* (2017); ZANUNCIO *et al.* (2013)

** ZANÃO *et al.* (2019)

Os extrativos e a lignina são considerados indesejáveis no processo de polpação, pois seus teores afetam diretamente o rendimento do processo e o consumo de reagentes. O pergaminho apresentou teor de extrativos (4,5%) semelhante ao da madeira de eucalipto (3,9%) encontrado por ZANÃO *et al.* (2019).

O teor de cinzas, medido pela combustão completa da matéria-prima, é o parâmetro que representa a quantidade de material não combustível presente na biomassa. Foi encontrado um teor de cinzas de 0,865% no pergaminho, ligeiramente superior ao comumente encontrado na literatura para espécies de eucalipto. No entanto, o pergaminho apresentou valor baixo quando comparado a outros materiais lignocelulósicos, como culturas agrícolas (5 a 10%) e resíduos agrícolas (acima de 30%), como a casca de arroz (QUAAK *et al.*, 1999). Martinez *et al.* (2019) relataram um teor de cinzas no pergaminho de café (5,91%) superior ao encontrado neste estudo.

O teor de cinzas influencia a produção de celulose e a operação da fábrica, pois causa corrosão e incrustações nos equipamentos, reduz a produtividade, diminui o poder calorífico da biomassa e pode gerar desde entupimentos causados por depósitos de resíduos da combustão até danos mais severos em sistemas de leito fluidizado (QUAAK *et al.*, 1999). Os principais elementos envolvidos na formação de incrustações e escórias são os metais alcalinos presentes nas cinzas, como o potássio e o sódio (JENKINS *et al.*, 1998).

Os ácidos urônicos representaram uma fração de 4,3% do peso seco do pergaminho. Eles são compostos principalmente por ácido 4-O-metilglucurônico e ácido galacturônico. O primeiro predomina nas xilanas, enquanto o segundo é constituinte da pectina (EVANGELISTA, 2017). O teor de ácidos urônicos encontrado no pergaminho foi superior ao obtido para o eucalipto e o pinus. Esse fato pode ser explicado pela diferença no conteúdo de xilanas no pergaminho de café (20,6%) em comparação com a madeira de eucalipto (10,2%) e de pinus (5,9%) encontrada por ZANÃO *et al.* (2019).

Os grupos ácidos estão relacionados ao consumo de álcali durante a polpação, com sua consequente hidrólise e dissolução, e à formação de ácidos hexenurônicos (LI *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2019). Os ácidos hexenurônicos protegem as xilanas contra reações de despolimerização terminal, preservando o rendimento da polpação (BACARIN *et al.*, 2017), mas afetam negativamente o branqueamento da polpa (LI *et al.*, 2016).

O teor de grupos acetil encontrados no pergaminho foi de 4,4%, superior ao encontrado em madeiras. Assim como os grupos ácidos urônicos, esse valor seguiu a mesma tendência do teor de xilanas. Os grupos acetil são componentes estruturais das hemiceluloses e estão ligados à cadeia de xilanas. Esses grupos afetam negativamente a produção de celulose, pois são facilmente removidos durante o cozimento, ocasionando perda de rendimento e consumo de álcali (ALVES *et al.*, 2011).

A lignina total foi determinada pela soma de duas frações: solúvel em ácido e insolúvel em ácido. O pergaminho apresentou 25,9% de lignina total, sendo 23,8% de lignina insolúvel e 2,1% de

lignina solúvel. Além da quantidade, é importante avaliar a qualidade da lignina, ou seja, a relação entre lignina do tipo siringil e guaiacil, chamada de relação S/G da lignina.

Foi encontrada uma relação S/G de 0,78 para o pergaminho. Gomes *et al.* (2013) relataram valores maiores de S/G (2,50 a 3,12) para madeira de eucalipto. Por outro lado, a madeira de pinus possui predominantemente lignina do tipo guaiacil. Sequeiros e Labidi (2017) relataram que a velocidade da deslignificação da madeira é influenciada pela estrutura da lignina, sendo diretamente proporcional à razão S/G. A lignina do tipo S é mais reativa e, portanto, mais facilmente removida durante o processo kraft, devido ao fato de que a lignina do tipo G contém maior quantidade de ligações C-C na posição C5 (SJÖSTRÖM, 1993).

Gomes *et al.* (2008), estudando clones comerciais de eucalipto, encontraram boas correlações entre a razão S/G e o rendimento depurado. Assim, a madeira ideal para produção de celulose kraft deve apresentar baixo teor de lignina associado a uma alta razão S/G da lignina.

Entre os diversos componentes químicos da biomassa, a fração mais significativa em peso é representada pelos carboidratos, principalmente a celulose e as hemiceluloses. A celulose é composta exclusivamente por glicose, e seu teor no pergaminho foi de 36,8%. Esse valor foi inferior ao encontrado por Zanão *et al.* (2019) para eucalipto e pinus, o que pode ser uma desvantagem, uma vez que o conteúdo de celulose está diretamente associado ao rendimento na polpação.

O pergaminho apresentou conteúdo de xilanas como fração dominante das hemiceluloses, comportamento semelhante ao das folhosas. Os demais açúcares (arabinanas, mananas e galactanas) apresentaram teores inferiores a 1%. De modo geral, o eucalipto apresenta maiores teores de glicanas e xilanas quando comparado à madeira de pinus. Já no pinus, observa-se predominância de glicanas e mananas (COLODETTE *et al.*, 2015).

4. CONCLUSÃO

A análise das propriedades químicas do resíduo da indústria do café (pergaminho) permitiu concluir que este material tem potencial para ser utilizado como matéria-prima para a produção de celulose. O pergaminho apresentou extrativos (4,5%), cinzas (0,9%) e lignina (25,9%) semelhantes às matérias-primas mais utilizadas na produção de celulose, como o eucalipto. Apesar de apresentar baixo teor de celulose (36,4%), apresenta alto teor de hemiceluloses (30,8%), em comparação à madeira de pinus e eucalipto, o que pode contribuir para o rendimento na polpação kraft.

REFERÊNCIAS

ALVES, I.C.N., GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., DA SILVA, H.D. CARACTERIZAÇÃO tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, p.167-174, 2011.

BACARIN, G.B., CABRERA, F.C., SILVA, M.R., JOB, A.E. The distribution of Lignin and Xylan in the Inner and Surface Layers of the Fiber from Eucalyptus Kraft Pulp and its Effects on Oxygen Delignification. **Materials Research**, v. 20, p. 945-950, 2017.

BALKISSOON, S., ANDREW, J., SITHOLE, B. Dissolving wood pulp production: a review. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, p.16607–16642, 2023.

BIAN, H., GAO, Y., LUO, J., JIAO, L., WU, W., FANG, G., DAI, H. Lignocellulosic nanofibrils produced using wheat straw and their pulping solid residue: From agricultural waste to cellulose nanomaterials, **Waste Management**, v.91, p. 1-8, 2019.

- COLODETTE, J.L., GOMIDE, J.L., CARVALHO, D.M. **Composição química de materiais lignocelulósicos**, in: J.L. Colodette, F.J.B. Gomes, UFV (Ed.), Branqueamento de Polpa Celulósica, 2015, pp. 33-58.
- EVANGELISTA, D.E. **Estudos funcionais e estruturais de pectinases e xilanases com potencial para aplicações biotecnológicas**. Doctoral thesis, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2017.
- GOMES, F.J.B., COLODETTE, J.L., BURNET, A., BATALHA, L.A.R., BARBOSA, B.M. Potential of elephant grass for pulp production. **BioResources**, v. 8, p. 4359-4379, 2013.
- GOMES, F.J.B., GOMES, A.F., COLODETTE, J.L., GOMIDE, J.L., CARVALHO, A.M.M.L., TRUGILHO, P. F., GOMES, C.M., ROSADO, A.M. Influence of content and S/G relation of the wood lignin on kraft pulping performance. **O Papel**, v. 12, p. 95-105, 2008.
- JARDIM, J.M., GOMES, F.J.B., COLODETTE, J.L., BRAHIM, B.P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O Papel**, v. 78, p.122-129, 2017.
- JENKINS, B.M, BAXTER, L.L., MILES, T.R., JR MILES, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v.54, p. 17-46, 1998.
- LI, J., ZHANG, C., HU, H., CHAI, X-S. Effect of shortening kraft pulping integrated with extended oxygen delignification on biorefinery process performance of eucalyptus. **Bioresource Technology**, v.202, p.119-124, 2016.
- LIN, S.Y. **Commercial spent pulping liquors**, in: C.W. Dence, S.Y. Lin (Eds.), Methods in Lignin Chemistry, Springer-Verlag, Berlin, 1992, pp. 75-80.
- MARTINEZ, C. L. M., SERMYAGINA, E., CARNEIRO, A. D. C. O., VAKKILAINEN, E., CARDOSO, M. Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v.123, p.70-77, 2019.
- MARTINEZ, C.L.M., SAARI, J., MELO, Y., CARDOSO, M., ALMEIDA, G.M., VAKKILAINEN, E. Evaluation of thermochemical routes for the valorization of solid coffee residues to produce biofuels: A Brazilian case. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v,137, p.110585, 2021.
- QUAAK, P., KNOEF, H., STASSEN, H. **Biomass as a fuel**, in: P. Quaak, H. Knoef, H. Stassen, Energy from biomass, A review of combustion and gasification technologies. 1. ed. Washington: The World Bank, 1999, pp. 02-05.
- SCOT, R.W. Colorimetric determination of hexenuronic acids in plant materials. **Analytical Chemistry**, v.7, p.936-941, 1979.
- SEQUEIROS, A., LABIDI, J. Characterization and determination of the S/G ratio via Py-GC-MS pf agricultural and industrial residues. **Industrial Crops and Products**, v.97, p.469-476, 2017.
- SJÖSTRÖM E. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**, Academic Press Inc., San Diego, CA, 1993.

- SOLAR, R., KACIK, F., MELCER, I. Simple semi-micro method for the determination of O-Acetyl groups in wood and related materials. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v.4, p.139-141, 1987.
- XU, L., ZHANG, S-J., ZHONG, C., LI, B.Z., YUAN, Y.J. Alkali-based pretreatment-facilitated lignin valorization: a review. **Industrial e Engineering Chemistry Research**, v. 59, p.16923-16938, 2020.
- ZANÃO, M., COLODETTE, J.L., OLIVEIRA, R.C., ALMEIDA, D.P., GOMES, F.J.B., CARVALHO, D.M. Evaluation of Kraft-PS Cooking for Eucalypt and Pine wood chip mixtures. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 39, p.149-165, 2019.
- ZANUNCIO, A.J.V., COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B., CARNEIRO, A.C.O., VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, p.755-760, 2013.
- ZHANG, H., NIE, S., QIN, C., WANG, S. Removal of hexenuronic acid to reduce AOX formation in hot chlorine dioxide bleaching of bagasse pulp. **Industrial Crops and Products**, v.128, p.338-345, 2019.

ÍNDICES DE RESISTÊNCIA DO PAPEL DA ESPÉCIE *Cecropia pachystachya* Trécul ORIUNDA DE FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE

Camila Juliana Sampaio Pereira^{1*}; Thamires Gomes Galdino²; Ariane Mateus de Souza¹; Mayara de Lima Ferreira³;
João Gilberto Meza Ucella Filho¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Leonardo Pequeno Reis²; Pamella Caroline
Marques dos Reis Reis²

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

³ Universidade Federal de Lavras – UFLA

*Autor correspondente (e-mail): camila.s.pereira@ufv.br

Resumo: O objetivo do trabalho foi descrever a qualidade das fibras com o intuito de determinar os índices de resistência do papel da espécie *Cecropia pachystachya* Trécul. Para o preparo do material macerado, foram adicionados pequenos fragmentos de madeira a uma solução macerante, em estufa à 60°C por 48 horas. Os índices indicativos de resistência do papel analisados foram: índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade, índice de enfeltramento e fração parede. Os índices indicativos da qualidade da fibra da madeira foram calculados no Software Excel. Os resultados do índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade e fração parede das fibras da madeira de embaúba apresentaram características viáveis para a produção de celulose e papel. As fibras da madeira de embaúba foram consideradas regulares para produção de papel de acordo com o índice de Runkel. O coeficiente de flexibilidade e a fração parede apresentaram resultados favoráveis. Somente o índice de enfeltramento apresentou-se abaixo do recomendado.

Palavras-chave: *Cecropia pachystachya* Trécul; Índices de resistência do papel; Fibras

STRENGTH INDICES OF PAPER FROM *Cecropia pachystachya* Trécul SOURCED FROM SECONDARY FOREST IN NORTHEASTERN PARÁ

Abstract: The objective of this study was to describe fiber quality in order to determine the paper strength indices of the species *Cecropia pachystachya* Trécul. For the preparation of macerated material, small wood fragments were added to a macerating solution and placed in an oven at 60°C for 48 hours. The paper strength indices analyzed were: Runkel index, flexibility coefficient, felting index, and wall fraction. The wood fiber quality indices were calculated using Microsoft Excel. The results for the Runkel index, flexibility coefficient, and wall fraction of *embaúba* wood fibers showed characteristics suitable for pulp and paper production. The wood fibers of *embaúba* were considered adequate for papermaking based on the Runkel index. The flexibility coefficient and wall fraction yielded satisfactory results. Only the felting index was below the recommended value

Keywords: *Cecropia pachystachya* Trécul; Paper strength indices; Fibers

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Cecropia pachystachya* Trécul, é conhecida popularmente como embaúba, pertencente à família Urticaceae, de domínio fitogeográfico presente nas regiões norte e centro-oeste do Brasil. Possui grande variedade de fitofisionomias, mas com o predomínio de florestas de igapó e florestas de terra firme, ocupando 49,3% do território brasileiro e se estende através da Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela e Guianas (GAGLIOTI e AGUIAR, 2023). As espécies de *Cecropia*

(Urticaceae), especialmente *C. pachystachya*, são amplamente comercializadas na América do Sul em diferentes formas e têm sido objeto de estudos morfoanatômicos para identificação medicinal, embora existam poucos estudos sobre seus efeitos cardiovasculares, como ação diurética ou hipotensora (RAPHAEL et al., 2015). Além disso, a madeira da embaúba, por ser leve (densidade de 0,43 g/cm³), de cor clara e proveniente de tronco reto que pode atingir 15 m, é considerada promissora para a indústria de painéis aglomerados (MARTINS et al., 2014). Levando em consideração sua ampla ocorrência e os usos já estudados para esta espécie, pode-se estudá-la sob outros fatores metodológicos a fim de identificar seu potencial para fabricação de papel.

Na fabricação de polpa e papel são geralmente preferidas as espécies com grandes volumes de fibras de grande comprimento em razão das boas propriedades de resistência advindas dessa característica. Quando se indica madeiras para fins papeleiros, diversos fatores devem ser avaliados, como fonte de matéria prima, processo de obtenção da celulose e propriedades desejadas no papel, as quais são influenciadas pelas características morfológicas das fibras (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume) e a maneira como ocorre o seu entrelaçamento, sendo utilizadas relações entre as dimensões como o Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade e Fração Parede (NISGOSKI et al., 2012). Com isso, o objetivo do trabalho foi descrever a qualidade das fibras com o intuito de determinar os índices de resistência do papel da espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de coleta

As amostras de madeira das espécies da *C. pachystachya* foram coletadas na área de floresta secundária localizada no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA (01°44'05" S; 47°03'11" W), no município de Capitão Poço, nordeste do Pará, Brasil. A floresta tem uma área de 8,12 ha e está localizada perto da zona urbana do município e inserida em uma paisagem composta por campos de pastagem. Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Am, com uma precipitação anual aproximada de 2.500 mm. Existe uma estação seca curta de setembro a novembro, com uma precipitação mensal por volta de 60 mm. A temperatura média é de 26 °C e a umidade relativa varia de 75% a 89% nos meses com menos e mais precipitação, respectivamente. O solo predominante no município é do tipo Latossolo Amarelo de textura média. (SCHWARTZ, 2007).

2.2. Coleta das amostras

As amostras para as análises anatômicas do lenho de embaúba foram coletadas pelo método não destrutivo (MND) invasivo, com o uso do trado de incremento. Foram amostrados dez indivíduos adultos da espécie na de altura do DAP (1,30 m do solo).

2.3. Preparo do material macerado

Para o preparo do material macerado retirou-se pequenos fragmentos de madeira, os quais foram transferidos para tubos de ensaio com solução macerante composto por peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial na proporção de 1:1 (DADSWELL, 1972). Em seguida, o material foi levado para estufa a 60 °C por 48 horas, lavado com água destilada por pelo menos três vezes e corados com corante Safranina alcoólica 1%, posteriormente as lâminas semipermanentes foram montadas com glicerina para registro fotográfico, onde eram registrados comprimento das fibras e diâmetro e espessura do lume.

2.4. Determinação dos índices de resistência do papel

Os índices indicativos analisados foram propostos por Foelkel e Barrichelo (1975), considerou-se o índice de Runkel (IR) (Equação 1), coeficiente de flexibilidade (CF) (Equação 2), índice de enfeltramento (IE) (Equação 3) e fração parede (FP) (Equação 4). Os índices indicativos da qualidade da fibra da madeira foram calculados no Software Excel.

$$IR = 2e/d \tag{1}$$

Em que: e = espessura da parede (µm); d = diâmetro do lume (µm).

$$CF = (d/D) \times 100 \tag{2}$$

Em que: d = diâmetro do lume (µm); D = largura da fibra (µm).

$$IE = C/D \tag{3}$$

Em que: C = comprimento da fibra (µm); D = largura da fibra (µm).

$$FP = (2e/D) \times 100 \tag{4}$$

Em que: e = espessura da parede (µm); D = largura da fibra (µm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das fibras

As fibras são classificadas como libriformes, não septadas e o comprimento médio delas foi de 1180,69 µm, com variação de 361,97 a 2234,89 µm (Tabela 1), sendo classificada como fibra curta (900 a 1600 µm), comuns em angiospermas (IBAMA, 1992). Valores médios foram encontrados nos estudos de Reis et. al. (2014), com a espécie *Cecropia latiloba* com 1100,24 µm.

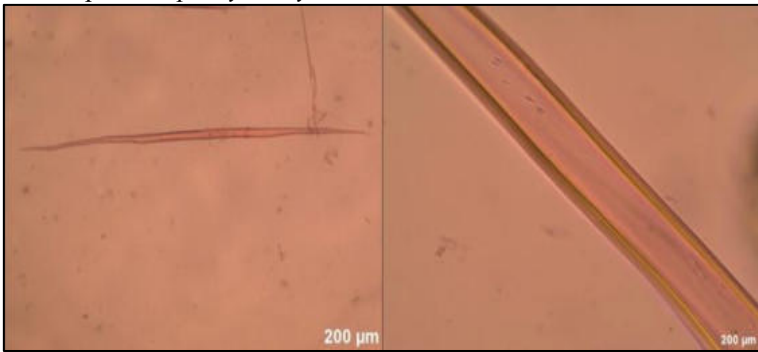
Tabela 1. Caracterização quantitativa das fibras de *C. pachystachya*

Análise descritiva	Fibras		
	Comprimento (µm)	Diâmetro do Lúmem (µm)	Espessura da parede (µm)
Média	1180,69	24,10	5,27
Máximo	2234,89	45,96	25,05
Mínimo	361,97	5,18	2,80
Desvio padrão	213,59	6,55	1,95
Intervalo de Confiança ±	24,27	0,74	0,22
Coeficiente de Variação (%)	18,09	27,16	36,97

Fonte: Autora, (2025).

A média da espessura da parede e do diâmetro do lume da fibra da espécie foi de 5,27 e 24,10 µm (Tabela 1). O lume da espécie é cerca de quatro vezes mais largo do que a parede, classificando-a como fibras de paredes delgadas (IAWA Committee, 1989). Reis et. al. (2014), também classificaram a espessura da parede de *C. pachystachya* como delgadas, com valores médios para a espessura da parede e o diâmetro do lume da fibra da espécie *C. latiloba* de 3,52 e 30,37 µm.

Figura 1. Dimensões de fibra da espécie *C. pachystachya*



Fonte: Autora, (2025).

O coeficiente de variação foi maior para espessura da parede e do diâmetro do lume das fibras mensuradas, (Tabela 1), esse resultado pode ser associado à variação na espessura da parede celular durante a formação do lenho inicial e do lenho tardio.

3.2. Índices de resistência do papel

O índice de Runkel é relação entre a rigidez e a capacidade de interligação da fibra (IR; FOELKEL, 1978), onde é classificado em cinco grupos, estabelecidos como, grupo I (até 0,25) – excelentes para papel, grupo II (0,26 – 0,5) – muito boas para papel, grupo III (0,6 – 1,0) – boas para papel, grupo IV (1,1 – 2,0) – regulares para papel e grupo V (> 2,0) – não devem ser utilizadas para produção de papel, pois o grau de colapso é considerado muito baixo (RUNKEL, 1952).

O índice de Runkel obtido para a *C. pachystachya* foi de 0,44 (Tabela 2), classificando-a no grupo II, considerada muito boa para produção de papel, no qual valores altos não são desejados uma vez que a fibra se torna rígida e com maior dificuldade de acomodação e união na folha de papel.

Tabela 2. Índices de resistência do papel da espécie *C. pachystachya*

Índice de Runkel	Coefficiente de Flexibilidade (%)	Índice de Enfeltramento	Fração Parede (%)
0,44	82,06	40,20	35,89

Fonte: autora, (2025).

O CF da embaúba foi de 82,06% (Tabela 2), superior ao encontrado no clone de Eucalyptus 1006, com 52,7% (TALGATTI et al., 2020), encontrando-se abaixo do recomendado. O índice de enfeltramento (IE) da espécie *C. pachystachya* apresentou uma média de 40,20 (Tabela 2), considerada baixa, uma vez que valores acima de 50 são mais indicados para boas características do papel relacionadas ao rasgo e dobras duplas (BALDI, 2001). A embaúba apresentou o valor de FP igual a 35,89% (Tabela 6), sendo considerado fibras com baixa rigidez. Valores superiores de FP foram encontrados para o clone de Eucalipto, apresentando 47,30 % (TALGATTI et al., 2020).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para o índice de Runkel, o coeficiente de flexibilidade e a fração parede das fibras da madeira de embaúba indicaram características morfológicas favoráveis à produção de celulose e papel. No entanto, o índice de enfeltramento apresentou-se abaixo do valor considerado

ideal, o que pode limitar o entrelaçamento das fibras e, conseqüentemente, afetar a resistência mecânica do papel produzido.

REFERÊNCIAS

BALDI, F. II Processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento. **In:** CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalyptus wood. **CSIRO Forest Products Laboratory, Melbourne**, n. 66, p. 1-28, 1972.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **In:** CONGRESSO ANUAL DA ABTCP – Semana do Papel, 8. São Paulo, 1975.

FOELKEL, C.E.B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 20, 1978.

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, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.

GAGLIOTI, A.L.; AGUIAR, D.P.P. *Cecropia in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15041>. Acesso em: 07 jul. 2023.

IBAMA - Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Normas parar procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I.angiospermae, II.gimnospermae**. Brasília: 1992.

LONDE, G. B. **Análise química da Cecropia adenopus (EMBAÚBA)**. 2004.

MARTINS, E.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; PROTÁSIO, T.; MENDES, R.; MENDES, L. Painéis aglomerados convencionais produzidos com madeira de *Cecropia pachystachya*. **Enciclopedia biosfera**, v.10, n.19, 2014.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; VENSON, I. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

RAPHAEL, M. B. et al. Comparing germination success and seedling traits between exotic and native pioneers: *Cecropia pachystachya* versus *Macaranga gigantea*. **Plant Ecol.**, v. 216, n. 7, p. 1019-1027, 2015.

REIS, P. C. M.; REIS, A. R. S.; LISBOA, P. L. B.; REIS, L. P. Anatomia do lenho de seis espécies do gênero *Cecropia* Loebl. (Urticaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 9, n. 1, p. 169-181, 2014.

SCHWARTZ G. Manejo sustentável de florestas secundárias: espécies potenciais no Nordeste do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento** v. 3, p. 125-147, 2007.

TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; BALDIN, T.; OLIVEIRA, L. H.; SANTINI, E. J.; PASA, D. L. Caracterização anatômica de clones comerciais de eucalyptus para a produção de papel. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5 n. 1, p. 65-70, 2020.

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA* NAS PROPRIEDADES DE CARVÃO VEGETAL

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro^{1*}; Sherellyn Daphnee Alves Moretti;

Geisianne Carvalho Almeida; Leila Aparecida Lopes; Fernanda Jesus Jorge

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): cassiacarneiro1@gmail.com

Resumo: O objetivo principal deste estudo foi avaliar o efeito da qualidade da madeira de genótipos de *Eucalyptus* e *Corymbia*, em três idades, no rendimento e qualidade de carvão vegetal. Foram utilizados cinco genótipos em três idades, cinco, seis e sete anos. Da madeira, determinou-se a relação cerne/alburno, densidade básica e propriedades químicas. Realizou-se carbonizações em mufla, visando a caracterização dos carvões vegetais, a partir da densidade relativa aparente, análise química imediata e poder calorífico. De acordo com os resultados, a idade influenciou no aumento da densidade básica da madeira, relação cerne/alburno e teor de material volátil, enquanto reduziu os teores de cinzas da madeira e carvão vegetal. O clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* poderia ter sua idade de corte reduzida para cinco anos visto que atingiu o recomendado pela indústria siderúrgica de densidade básica acima de 500 kg m⁻³ e a partir dos seis anos o clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* (tri-cross) também poderia ser recomendado. Verificou uma correlação positiva entre rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RGCV), lignina total (LG) e índice de cristalinidade da celulose (IC), o que indica que estes dois componentes influenciam no aumento do rendimento gravimétrico. Pode-se concluir que o clone com maior potencial para produção de carvão vegetal voltado para indústrias siderúrgicas é o *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* com sete anos de idade por apresentar maior densidade básica e maior densidade aparente de carvão vegetal, consequente maior densidade em carbono.

Palavras chave: Produtividade; permeabilidade; densidade em carbono

INFLUENCE OF WOOD QUALITY FROM CLONES OF *EUCALYPTUS* AND *CORYMBIA* ON CHARCOAL PROPERTIES

Abstract: The main objective of this study was to evaluate the effect of wood quality of *Eucalyptus* and *Corymbia* genotypes, at three ages, on charcoal yield and quality. Five genotypes were used at three ages, five, six and seven years. The heartwood/sapwood ratio, basic density and chemical properties were determined from the wood. Carbonization in a muffle furnace was also carried out to characterize the charcoals, based on apparent relative density, immediate chemical analysis and superior calorific value. According to the results, age influenced the increase in the basic density of the wood, heartwood/sapwood ratio and volatile material content, while reducing the ash and charcoal contents of the wood. The *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* clone could have its cutting age reduced to five years since it reached the recommended basic density by the steel industry of over 500 kg m⁻³ and from six years onwards the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* clone could also be recommended. The *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clone reached the recommended basic density for charcoal production at age seven. It can be concluded that the clone with the greatest potential for charcoal production for the steel industry

is the seven-year-old *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* because it has a higher basic density and higher apparent density of charcoal.

Keywords: Productivity; permeability; carbon density

1. INTRODUÇÃO

Os plantios florestais utilizados para suprir a demanda de biomassa energética, são conceituados como florestas energéticas. Estes plantios utilizam inovações e avanços no melhoramento genético florestal para conseguirem matéria prima em quantidade e qualidade para atender o setor energético, principalmente fazendo uso de rotações mais curtas (PRATIWI et al., 2024).

As espécies do gênero *Eucalyptus* são destaques entre as diversas opções para se obter biomassa florestal. Isto se deve aos ganhos obtidos pelo melhoramento genético dessas espécies ao longo dos anos, além das tecnologias de implantação e condução dos povoamentos (MOLINARI et al., 2023).

Vale salientar que a utilização de clones superiores de *Eucalyptus*, como os tri-cross “three-way-cross”, pode proporcionar melhores resultados em florestas energéticas, já que são formados pelo cruzamento entre três diferentes espécies de eucaliptos, o que proporciona maior heterose, ou seja, maior crescimento, resistência e produtividade do que os clones de cruzamentos simples. Essa característica é favorável para produção de madeira e carvão vegetal de alta qualidade. Estes clones têm sido frequentemente avaliados, pois podem melhorar significativamente a eficiência e a qualidade da produção do carvão vegetal e contribuir para práticas mais sustentáveis.

Mais recentemente o gênero de *Corymbia* também tem sido apontado como uma excelente matéria prima para produção de carvão vegetal, considerando principalmente sua densidade básica e permeabilidade.

As madeiras destes gêneros são utilizadas para fins energéticos, na forma de lenha e cavaco, ou transformada em carvão vegetal. No Brasil, o carvão vegetal é utilizado principalmente no uso industrial, sendo que, aproximadamente 83% da sua produção é destinada às indústrias siderúrgicas, usados para fornecer carbono para as reações de redução, energia na forma de calor, sustentar a carga de minério de ferro e permitir a percolação gasosa do leito (SINDIFER, 2023; PROTÁSIO et al., 2021).

No entanto, apesar da escala de utilização, as informações sobre a qualidade da madeira e carvão vegetal dos tri-cross e clones de *Corymbia* ainda são insuficientes quando comparadas com os híbridos de *Eucalyptus* utilizados comercialmente, principalmente no que tange a idade técnica de corte das árvores, que impacta direta dos investimentos florestais e fornecimento de matéria prima antecipada, com uma demanda cada vez mais crescente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados quatro materiais genéticos de *Eucalyptus* spp. e um híbrido de *Corymbia*, em três idades de colheita das árvores, sendo 5, 6 e 7 anos, provenientes de uma empresa participante do Grupo Temático Carvão Vegetal, parceira do projeto, a saber; *E. urophylla* x *E. camaldulensis* x *E. grandis* (tri-cross); *E. urophylla*; *E. urophylla* x *E. pellita*; *E. grandis* x *E. urophylla* e *C. citriodora* x *C. torelliana*.

Tabela 1: Propriedades das madeiras e carvão vegetal e seus respectivos procedimentos e normas

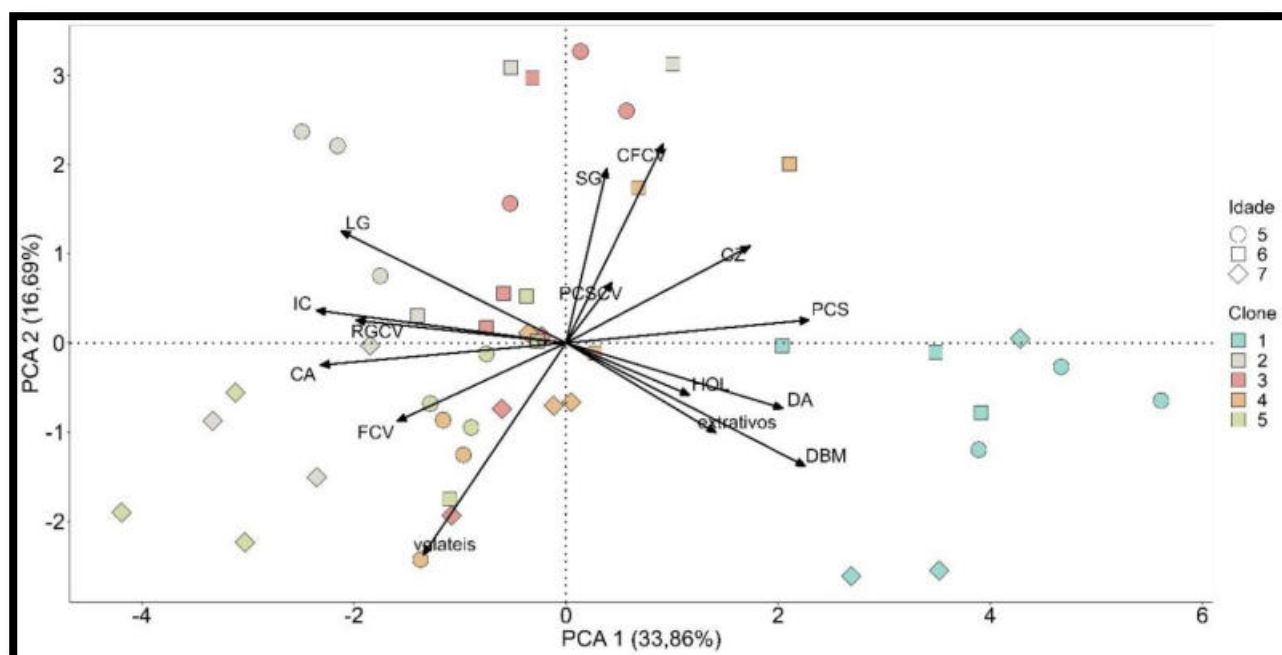
Propriedades	Procedimento/norma
Densidade básica da madeira	NBR 11941 (ABNT, 2003)
Relação cerne/alburno	EVANGELISTA (2007)
Relação S/G	(LIN e DENCE, 1992)
Índice de cristalinidade da celulose	Segal et al. (1959); Browning (1967); Fengel e Wegener (1989)
Composição química estrutural da madeira	TAPPI test methods T 257 cm-85; TAPPI test methods T264 om-88; TAPPI test methods T 204 om-88
Composição química imediata da madeira	ASTM D1762 – 84 (2021)
Análise termogravimétrica da madeira	ASTM E1131-20 (2020)
Carbonização em mufla – carvão vegetal	PEREIRA et al., 2013
Rendimento gravimétrico em carvão vegetal	PEREIRA et al., 2013
Composição química imediata do carvão vegetal	ASTM D1762 – 84 (2021)
Densidade aparente do carvão vegetal	VITAL (1984)
Poder calorífico superior do carvão vegetal	DIN EM 14918 (2010)

Para avaliação dos resultados experimentais foi considerado o delineamento inteiramente casualizado com quinze tratamentos e três repetições (árvores), totalizando 45 unidades amostrais. A análise descritiva foi utilizada como estudo preliminar, visando obter as medidas de dispersão e posição. Em função do número de variáveis, utilizou-se a análise multivariada de componentes principais (PCA) após a normalização dos dados apresentados em diferentes unidades. Obteve-se, desta forma, os principais componentes resultantes de combinação linear que capturaram o máximo de informações com a maior variância explicada. Para a realização das análises, utilizou-se os softwares estatísticos R versão 4.1.0 (R Core Team, 2021), Past versão 4.03 e *Statistica* versão 7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois primeiros componentes principais tiveram os maiores valores e explicaram mais de 50% da variação total dos dados. Verificou uma correlação positiva entre rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RGCV), lignina total (LG) e índice de cristalinidade da celulose (IC), o que indica que estes dois componentes influenciam no aumento do rendimento gravimétrico. A lignina é um polímero complexo e possui uma alta resistência a degradação térmica e porcentagens consideráveis de carbono elementar em sua composição, mais de 65%, portanto os componentes ricos em oxigênio como a celulose e hemiceluloses degradam-se de forma mais rápida (COUTO et al., 2023).

Figura 1 - Análise de componentes principais das propriedades da madeira e do carvão vegetal de diferentes clones de *Eucalyptus* spp. e um híbrido de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* em diferentes idades



Em que: LG: Lignina total; SG: Relação Siringila/guaiacila; CFCV: Carbono fixo do carvão vegetal; CZ: Teor de cinzas do carvão vegetal; IC: Índice de cristalinidade da celulose; CA: Relação cerne/alburno; PCSCV: Poder calorífico superior do carvão vegetal; PCS: Poder calorífico da madeira; RGCV: Rendimento gravimétrico em carvão vegetal; FCV: Teor de finos do carvão vegetal; HOL: Teor de holoceluloses; DA: Densidade aparente do carvão; DBM: Densidade básica da madeira.

Quanto a cristalinidade da celulose, pressupõe-se que madeiras com maiores índices de cristalinidade da celulose são mais resistentes a degradação térmica, o que contribui para um maior rendimento gravimétrico. Este resultado pode ser explicado pela diferença de estabilidade térmica entre a celulose amorfa e celulose cristalina, esta última possui fortes e bem estruturadas ligações de hidrogênio, intramoleculares e intermoleculares resultando em uma estrutura mais condensada (CHEN et al., 2020; LENG et al., 2018). Esses resultados são semelhantes a resultados encontrados em estudos realizados anteriormente com madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* (MASSUQUE et al., 2022).

O rendimento gravimétrico e extrativos totais se correlacionaram de forma negativa, resultado divergente foi encontrado por Fialho et al. (2022), isso possivelmente ocorreu devido à natureza dos extrativos presentes no material utilizado no estudo. Os extrativos presentes na madeira incluem lipídios, compostos fenólicos, terpenóides, ácidos graxos entre outros. Os ácidos graxos e esteroides são degradados em temperaturas mais baixas que a temperatura final de carbonização, com isso não contribuem com o rendimento do carvão vegetal (PEREIRA et al., 2013; SCHULZ et al., 2020).

Foi encontrada também, uma correlação positiva entre relação cerne/alburno (C/A) e teor de finos do carvão. Quanto maior a relação C/A maior será a dificuldade para liberar os gases e vapor d'água do interior da madeira durante a carbonização, devido à baixa permeabilidade do cerne. Com isso, ocorre o aumento da pressão interna na madeira e favorece o colapso de suas células o que aumenta a friabilidade do carvão vegetal e consequentemente o seu teor de finos.

A densidade aparente do carvão vegetal e a densidade básica da madeira tiveram correlação positiva, o que é esperado e comumente encontrado em estudos que correlacionam as propriedades da madeira com as do carvão vegetal. Esta correlação positiva propõe que quanto maior a DBM utilizada para produção de carvão vegetal maior será a densidade aparente desse carvão, melhorando

a produtividade das unidades de produção de carvão vegetal e reduzindo os custos de transporte (FIALHO et al., 2022).

4. CONCLUSÃO

As propriedades da madeira mais afetadas pela idade de corte foram, a densidade básica da madeira, relação cerne/alburno e teor de material volátil que aumentaram com o avanço da idade e os teores de cinza da madeira e do carvão vegetal que reduziram conforme aumentava a idade.

Dentre os materiais avaliados o clone de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* aos sete anos apresentou melhor desempenho para utilização nas indústrias siderúrgicas, por apresentar maior densidade básica da madeira, maior densidade aparente do carvão vegetal, consequentemente maior massa de madeira e massa de carvão por hectare, respectivamente. Entre as idades, a que obteve os maiores valores de densidade básica da madeira, teor de extrativos totais, rendimento gravimétrico em carvão vegetal e massa seca de madeira e carvão vegetal foi a idade sete.

REFERÊNCIAS

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

ASTM – American Society for Testing and Materials. ASTM D1762 – 84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken, USA, 2021.

ASTM – American Society for Testing and Materials. ASTM E1131-20: Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, 2020.

CANAL, W. D. et al. Effect of age on heartwood / sapwood relationship, extractive content, and permeability of teak wood. **Floresta**, v. 50, n. 4, p. 1698, 2020.

CHEN, H. et al. Comparative pyrolysis behaviors of stalk, wood and shell biomass: Correlation of cellulose crystallinity and reaction kinetics. **Bioresource Technology**, v. 310, p. 123498, 2020.

COUTO, A. M. et al. Influence of physical-anatomical wood variables on charcoal physical-mechanical properties. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 2, p. 531–538, 2023.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FIALHO, L. de F. et al. Application of univariate and multivariate statistical analyzes in clonal selection of *Eucalyptus* spp. for charcoal production. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1659–1683, 2022.

LENG, E. et al. In situ structural changes of crystalline and amorphous cellulose during slow pyrolysis at low temperatures. **Fuel**, v. 216, p. 313–321, 2018.

LOPES, E. D. et al. Physical and chemical properties of wood from *Eucalyptus* and *Corymbia* clones in different planting densities. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 2, 2023.

MASSUQUE, J. et al. Evaluating the Potential of Non-commercial *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. for Bioenergy in Brazil. **Bioenergy Research**, v. 1, p. 1–12, 2022.

MOLINARI, L. V. et al. Clonal microplant production of *Corymbia maculata*: effect of chemical sterilisation, plant growth regulator, gas exchange, activated charcoal and lighting. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 85, n. 1, p. 40–48, 2023.

PEREIRA, B. L. C. et al. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **BioResources**, v. 8, n. 3, p. 4574–4592, 2013.

PROTÁSIO, T. de P. et al. Influence of Extractives Content and Lignin Quality of Eucalyptus Wood in the Mass Balance of Pyrolysis Process. **BioEnergy Research**, v. 14, n. 1, p. 175–189, 2021.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 11 set. 2023.

SINDIFER. Anuário Estatístico – Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais. 2022. Disponível em: <http://sindifer.com.br/sndfr/anuario-estatistico/>. Acesso em: 11 out. 2023.

SCHULZ, H. R. et al. Avaliação de propriedades termoquímicas e físico-mecânicas de três espécies florestais de rápido crescimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 3, 2020.

SEGAL, L. et al. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, n. 10, p. 786–794, 1959.

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta, USA: TAPPI Standard Method, 1996. a.

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta, USA: Cd-Rom, 1996. b.

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta, USA: TAPPI Standard Method, 1996. c.

VITAL, Benedito Rocha. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa - MG, 1984. p. 21.

AVALIAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE COMO BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR

Iara Nobre Carmona^{1*}; Álisson Moreira da Silva¹; Vaniele Bento dos Santos¹; Paulo Renato Souza de Oliveira¹; Kamilla Crysllayne Alves da Silva²; Allana Katiussya Silva Pereira²; Daniel Saloni³; Ananias Francisco Dias Júnior¹; Maria Lucia Bianchi⁴.

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, ESALQ, Universidade de São Paulo, Brasil.

³ Departamento de Biomateriais Florestais da Universidade Estadual da Carolina do Norte, Estados Unidos da América.

⁴ Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): iaranobrecarmona@gmail.com*

Resumo: Este estudo teve como objetivo caracterizar o bagaço de malte, um resíduo lignocelulósico gerado na produção artesanal de cerveja, visando avaliar seu potencial como matéria-prima para aplicações termoquímicas, especialmente na produção de biochar. Para minimizar a presença de compostos solúveis que possam interferir na pirólise e nas propriedades do material final, foram aplicados dois pré-tratamentos hídricos: (i) lavagem com água fria (20 a 25 °C) e (ii) lavagem com água quente (80 °C). As amostras foram submetidas a análises de composição química estrutural (extrativos, lignina e holocelulose), imediata (umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) e elementar (CHNS-O). O bagaço apresentou alto teor de extrativos (14,3%), baixo teor de cinzas (3,6%) e teor expressivo de holocelulose (55,9%), características que reforçam sua aptidão para rotas de conversão termoquímica. A análise elementar revelou a predominância de carbono e oxigênio, típica de biomassa lignocelulósica. Os resultados demonstram que o bagaço de malte é um resíduo agroindustrial com elevado potencial de valorização, alinhando-se aos princípios da economia circular e da bioeconomia.

Palavras chave: Resíduo agroindustrial; Composição lignocelulósica; Espectroscopia FTIR; Pré-tratamento hídrico.

EVALUATION OF MALT BAGASSE AS LIGNOCELLULOSIC BIOMASS FOR BIOCHAR PRODUCTION

Abstract: This study aimed to characterize malt bagasse, a lignocellulosic residue generated in artisanal beer production, in order to evaluate its potential as a raw material for thermochemical applications, especially for biochar production. To minimize the presence of soluble compounds that could interfere with pyrolysis and the properties of the final material, two aqueous pretreatments were applied: (i) washing with cold water (20 to 25 °C) and (ii) washing with hot water (80 °C). The samples were subjected to analyses of structural chemical composition (extractives, lignin, and holocellulose), proximate analysis (moisture, volatile materials, ash, and fixed carbon), and elemental analysis (CHNS-O). The bagasse showed a high content of extractives (14.3%), low ash content (3.6%), and a significant amount of holocellulose (55.9%), characteristics that reinforce its suitability for thermochemical conversion routes. Elemental analysis revealed the predominance of carbon and oxygen, typical of lignocellulosic biomass. The results demonstrate that malt bagasse is an agro-

industrial residue with high potential for valorization, aligning with the principles of the circular economy and bioeconomy.

Keywords: Agro-industrial waste; Lignocellulosic composition; FTIR spectroscopy; Aqueous pretreatment.

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de bebidas desempenham um papel significativo nos fluxos de desperdício de alimentos e lideram a geração de resíduos, sendo responsáveis por aproximadamente 26% do total de perdas e desperdícios de alimentos (TSEGAYE; JAISWAL; JAISWAL, 2021). No Brasil, o volume de produção declarado de cerveja atingiu o montante superior a 15 bilhões de litros no ano de 2023(MAPA, 2023). Nesse setor, o bagaço de malte é o principal resíduo sólido gerado, representando cerca de 85% do total de resíduos gerados (VANREPPLEN et al., 2014). Esse subproduto é constituído majoritariamente por cascas dos grãos de cevada e porções residuais de endosperma e pericarpo (VANREPPLEN et al., 2014), apresentando composição rica em compostos lignocelulósicos como celulose, hemiceluloses e lignina, além de quantidades variáveis de extrativos, proteínas, lipídeos e minerais (BELARDI et al., 2025; VIRDI et al., 2025). A composição do bagaço pode variar conforme o tipo de malte utilizado, proporção de adjuntos, eficiência do processo de brassagem e tipo de cerveja produzida.

Embora o bagaço de malte seja tradicionalmente utilizado como complemento na alimentação animal, esse destino representa uma forma subvalorizada de aproveitamento, especialmente diante do crescente interesse em alternativas sustentáveis para a valorização de resíduos agroindustriais. Nos últimos anos, os resíduos dos grãos usados pela indústria cervejeira têm ganhado destaque devido ao seu potencial em contribuir com uma economia circular, alinhando-se aos esforços globais para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o ODS 12, que enfatiza o consumo e a produção responsáveis (VIRDI et al., 2025). O aproveitamento desse resíduo para a produção de materiais com maior valor agregado, como biochar, biocompósitos ou adsorventes, é uma realidade (ATIQA NASIR; DAVIES; MCGREGOR, 2020; VANREPPLEN et al., 2014) mas requer compreensão detalhada de suas características físico-química. Assim, a caracterização química, térmica e elementar do bagaço de malte permite identificar sua adequação a diferentes rotas tecnológicas, como processos termoquímicos (pirólise, torrefação e combustão) ou bioquímicos (fermentação e hidrólise enzimática). Ademais, pré-tratamentos simples como a lavagem com água em diferentes temperaturas podem contribuir para a remoção de compostos solúveis, uniformização do material e melhoria da qualidade analítica e funcional da biomassa.

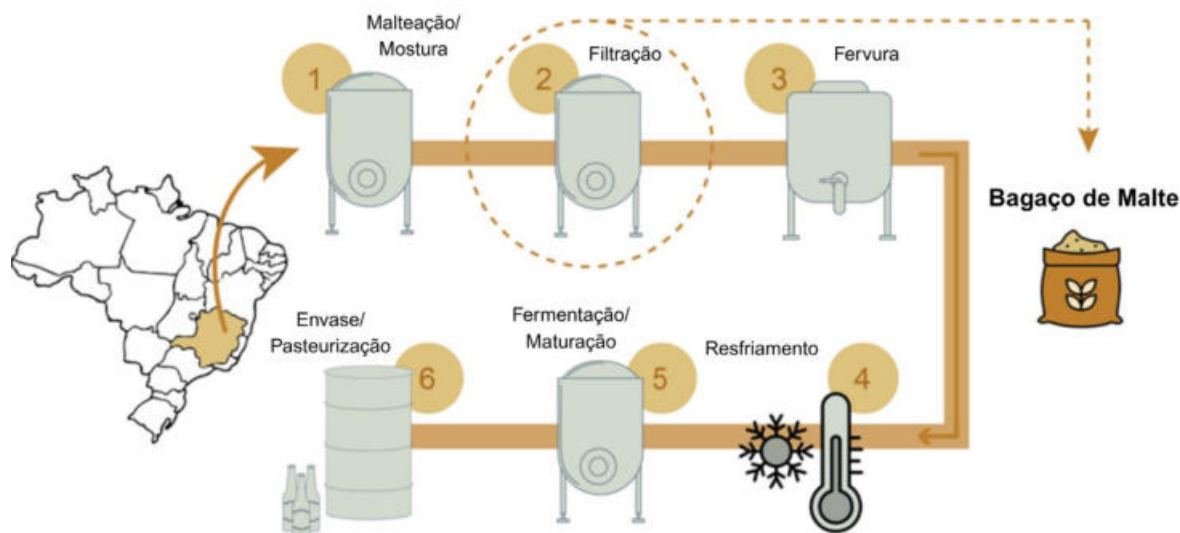
Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo caracterizar o bagaço de malte proveniente de produção artesanal de cerveja, com e sem pré-tratamentos hídricos, visando fornecer subsídios para sua utilização eficiente em aplicações industriais dentro da perspectiva da bioeconomia e da valorização de resíduos lignocelulósicos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O bagaço de malte utilizado no estudo foi proveniente da microcervejaria “Do Funil”, situada na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil – Latitude: 21° 14' 45" Sul, Longitude: 44° 59' 59" Oeste, e coletado após a etapa de filtração da produção de cerveja artesanal (Figura 1). O material foi armazenado em freezer (< 18 °C) em embalagens plásticas, descongelado à temperatura ambiente por

cerca de 24 horas e seco em estufa a 60 °C por 48 horas. Em seguida, foi moído em moinho tipo Wiley e peneirado para obtenção da fração granulométrica entre 40 e 60 *mesh*.

Figura 1: Processo de produção de cerveja e coleta de bagaço de malte na cervejaria artesanal Funil.



Visando reduzir possíveis compostos interferentes na produção de biochar, o bagaço de malte foi submetido a dois pré-tratamentos: (i) lavagem com água fria (20–25 °C) e (ii) com água quente (80 °C), utilizando 100 mL de água destilada para cada 10 g de biomassa. Esses tratamentos buscam remover compostos hidrossolúveis e lipofílicos, como açúcares, sais e fenóis, que podem comprometer o rendimento e a qualidade do produto pirolisado. Também contribuem para maior homogeneidade química, facilitando a caracterização. Após a lavagem, o material foi filtrado, seco em estufa a 103 ± 2 °C por 24 horas e peneirado (40–60 *mesh*).

As amostras de bagaço de malte foram posteriormente submetidas à caracterização quanto à composição química estrutural (teores de extrativos, lignina e holoceluloses) e análise imediata (umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo), utilizando a porção de biomassa classificada entre 40 e 60 *mesh*. Foram adotadas ainda a análise elementar (CHNS-O) usando biomassa classificada entre 200 e 270 *mesh*.

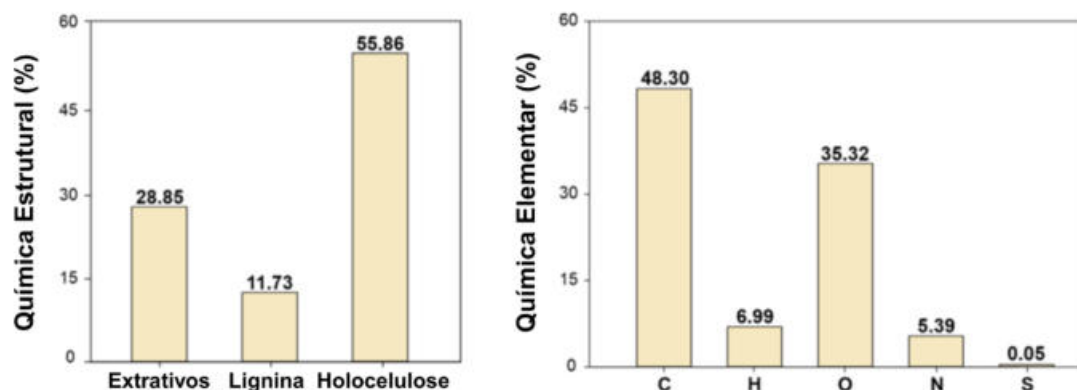
Os extrativos foram determinados conforme a norma TAPPI 204 om-88. A lignina insolúvel foi quantificada pelo método de Klason modificado (GOMIDE & DEMUNER, 1986), enquanto a lignina solúvel seguiu o método de GOLDSCHMID (1971). O teor de holocelulose foi obtido por diferença, subtraindo-se os teores de extrativos, lignina e cinzas. A composição imediata (umidade, voláteis e cinzas) foi determinada com base nas normas ASTM D1102-84 e E872-82. O carbono fixo foi calculado por diferença. A análise elementar foi realizada em analisador Vario Micro Cube, empregando hélio como gás portador e oxigênio como gás de ignição, com temperatura final de 1200 °C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os extrativos do bagaço de malte apresentaram teor elevado (14,3%, Figura 2), superando os valores comuns em materiais lignocelulósicos como madeiras comerciais. Esse resultado pode estar relacionado à concentração de compostos fenólicos e lipofílicos nas cascas dos grãos de cevada, matéria-prima da cervejaria (VANREPPLEN et al., 2014). Segundo Medeiros et al. (2014), extrativos aumentam a densidade da biomassa, favorecendo a obtenção de biochar mais denso. No

entanto, biochars mais densos tendem a ter menor porosidade, o que pode limitar sua eficiência como adsorvente (RAMOS et al., 2019).

Figura 2: Valores médios da composição química estrutural e elementar do bagaço de malte.

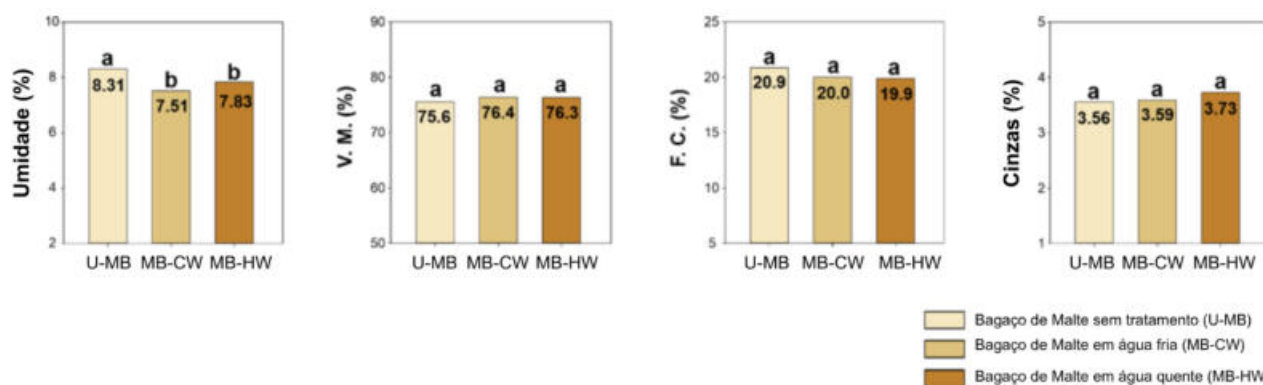


Onde: C = carbono; H = hidrogênio; O = oxigênio; N = nitrogênio; S = enxofre.

O teor de lignina (11,73%) foi similar ao encontrado por Vanreppelen et al. (2014) (11,3%), e inferior ao relatado por autores como Qin et al. (2018) e Massardi et al. (2020), que identificaram valores entre 19 e 21%. Essa variação pode ser atribuída à diversidade de receitas, grãos maltados e condições de produção da cerveja, as quais afetam diretamente a composição final do bagaço. No entanto, o teor de holocelulose (55,86%) foi similar ao encontrado na literatura (WILKINSON et al., 2014; QIN et al., 2018; MASSARDI et al., 2020). Essa fração é fundamental para aplicações que envolvam hidrólise ou transformações bioquímicas.

Na análise elementar, a predominância de carbono (48,30%) e oxigênio (35,32%) confirma a natureza lignocelulósica do bagaço, composta por polissacarídeos e compostos aromáticos típicos da celulose, hemicelulose e lignina. Esses elementos são cruciais para a estabilidade térmica e potencial de aplicação em processos como a pirólise (BISWAS et al., 2017). A análise imediata revelou que os pré-tratamentos empregados não alteraram significativamente os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo (Figura 3). A umidade, porém, apresentou redução nos materiais lavados, o que pode favorecer o desempenho em processos térmicos subsequentes. O elevado teor de materiais voláteis (76%) evidencia o comportamento reativo do material a baixas temperaturas, sendo compatível com processos como torrefação e pirólise (BISWAS et al., 2017).

Figura 3: Average moisture values and immediate chemistry of malt bagasse.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. Onde: V.M. = materiais voláteis; F.C. = carbono fixo.

O teor de cinzas (3,6%) foi considerado baixo, indicando baixa presença de minerais indesejáveis. Isso é favorável para aplicações industriais, pois teores elevados comprometem o rendimento energético e a qualidade de produtos da pirólise, como bio-óleo e biochar. Além disso, baixos teores de cinzas melhoram a estabilidade térmica da biomassa e reduzem riscos de incrustações e corrosão em equipamentos. O carbono fixo (cerca de 20%) corresponde à fração sólida remanescente após a liberação de voláteis, sendo um indicador do potencial da biomassa para gerar biochar com maior estabilidade estrutural.

4. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam o potencial do bagaço de malte proveniente de cervejaria artesanal como recurso renovável e versátil para usos industriais diversos, especialmente no contexto da bioeconomia e valorização de resíduos agroindustriais.

REFERÊNCIAS

ATIQA NASIR, N.; DAVIES, G.; MCGREGOR, J. Tailoring product characteristics in the carbonisation of brewers' spent grain through solvent selection. **Food and Bioprocess Technology**, 120, 41–47, 2020.

American Society for Testing and Materials, ASTM D1102-84. *Standard Test Method for Ash in Wood*, 2007.

American Society for Testing and Materials, ASTM E872-82. *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2006.

BELARDI, I.; MARCONI, O.; MARROCCHI, A.; MUSSATTO, S. I. Sequential extraction of protein, phenolic compounds, and oligosaccharides from brewer's spent grains. **Separation and Purification Technology**, 371, 133385, 2025.

BISWAS, B.; PANDEY, N.; BISHT, Y.; SINGH, R.; KUMAR, J.; BHASKAR, T. Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. **Bioresource Technology**, v. 237, p. 57-63, 2017.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds). **Lignins**. New York: Wiley-Interscience, p.241-266, 1971.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O Papel**, v.47, n.8 p.36-38, 1986.

MAPA, M. da A. (2023). Anuário da Cerveja 2024. In Mapa (Ed.), *Anuário da Cerveja 2024*. <https://sindicerv.com.br/2025/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. DE J. Caracterização Química Do Bagaço De Malte E Avaliação Do Seu Potencial Para Obtenção De Produtos De Valor Agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 1, p. 83-91, 2020.

MEDEIROS, P. N. NO; OLIVEIRA, L.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e

do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.

QIN, F.; JOHANSEN, A. Z.; MUSSATO, S.I. Evaluation of different pretreatment strategies for protein extraction from brewer's spent grain. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 443-453, 2018.

RAMOS, D. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TANGSTAD, M.; SAADIEH, R.; PEREIRA, B. L. C. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for metallurgical. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26 (Special nº2), p. e20180435, 2019.

VANREPPPELEN, K.; VANDERHEYDEN, S.; KUPPENS, T.; SCHREURS, S.; YPERMAN, J.; CARLEER R. Activated carbon from pyrolysis of brewer's spent grain: Production and adsorption properties. **Waste Manag Res.**, v. 32, n.7, p. 634-45, 2014.

VIRDI, A. S.; MAHAJAN, A.; DEVRAJ, M.; SANGHI, R. Brewers' Spent Grains: Techno-Functional Challenges and Opportunity in the Valorization for Food Products. **LWT**, 117785, 2025.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry; Test methods; Atlanta, USA. 2000-2001.

WILKINSON, S.; SMART, K. A.; COOK, D. J. A comparison of dilute acid - and alkali - catalyzed hydrothermal pretreatments for bioethanol production from brewers' spent grains. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 72, n. 2, p. 143-153, 2014.

IMPACTO DA IDADE NA PRODUÇÃO DE CERNE E CASCA DA MADEIRA DE UM CLONE DE EUCALIPTO

Sâmara Magdalene Vieira Nunes^{1*}; Vaniele Bento dos Santos¹; Thayanne Caroline Castor Neto¹; Natielly Cristine Gomes de Medeiros¹; Gustavo Jaske da Conceição¹; Stéffany de Lima Araujo¹; Renata Guilherme Cândido da Silva²; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Suzano, Aracruz, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): samaramvnunes@hotmail.com

Resumo: A idade da árvore pode influenciar diretamente na qualidade da madeira de eucalipto. Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da idade na formação de cerne e casca em um clone de eucalipto. Foram amostradas árvores com 3, 5 e 7 anos de idade, provenientes de plantios comerciais localizados em diferentes sítios no estado da Bahia. Discos foram coletados ao longo da altura comercial das árvores para determinar a proporção e a distribuição longitudinal de cerne e casca. Os resultados mostraram que a proporção de cerne aumenta com a idade, expandindo-se das regiões basais para as medianas do fuste nas árvores mais velhas. Por outro lado, a proporção de casca diminui com o avanço da idade, favorecendo maior alocação de biomassa para o lenho. Esses resultados evidenciam a influência da idade na qualidade da madeira e no aproveitamento industrial, contribuindo para estratégias mais eficientes de manejo florestal e uso da biomassa.

Palavras chave: Qualidade da madeira; Ambientes contrastantes; Variabilidade longitudinal; Base-topo.

IMPACT OF AGE ON HEARTWOOD AND BARK PRODUCTION OF A EUCALYPTUS CLONE WOOD

Abstract: The age of the tree can have a direct influence on eucalyptus wood quality. This study aimed to evaluate the impact of age on heartwood and bark production in a Eucalyptus clone. Trees at 3, 5, and 7 years of age were sampled from commercial plantations in different sites in Bahia, Brazil. Discs were collected along the commercial height to determine the proportion and longitudinal distribution of heartwood and bark. The results showed that heartwood proportion increases with tree age, expanding from the base to median stem positions in older trees. Conversely, bark proportion decreases as age advances, favoring greater allocation of biomass to wood. These patterns highlight the relevance of age in wood quality, forest management, and industrial processes, contributing to more efficient use of both wood and bark according to production demands.

Keywords: Wood quality; Contrasting environments; Longitudinal variability; Base-top.

1. INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* são amplamente reconhecidas por sua elevada produtividade, ampla adaptação a diferentes condições ambientais e múltiplas aplicações industriais, especialmente na produção de celulose, energia e madeira sólida. Entre os atributos tecnológicos mais relevantes, a proporção e as propriedades do cerne e da casca têm papel decisivo na qualidade da madeira e na eficiência dos processos industriais. A produção de cerne e casca, contudo, não é

constante e pode ser afetada por fatores como idade da árvore, genótipo, condições ambientais e práticas silviculturais (Almeida et al., 2020).

Estudos conduzidos com clones de *Eucalyptus urophylla* ao longo de um gradiente climático no Brasil revelaram que a proporção de cerne variou de 61% a 67% em função da latitude, temperatura, precipitação, déficit hídrico do solo e eficiência do uso da água (Almeida et al., 2020). Esses autores destacam que a formação de cerne apresenta forte relação com as taxas de crescimento das árvores, além de ser influenciada por fatores genéticos, sugerindo a necessidade de incluir a avaliação do conteúdo de cerne em programas de manejo e melhoramento genético da espécie.

A proporção e propriedades anatômicas e químicas da casca têm papel relevante tanto para a indústria quanto para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Em um estudo sobre um clone comercial de *Eucalyptus urophylla*, Sartori et al. (2021) caracterizaram a casca como rica em fibras (26,8%) e parênquima axial (37,9%), com elevado teor de extrativos polares (19,5%) e lignina (25%), além de considerável conteúdo de taninos e açúcares redutores. Esses dados destacam o potencial de aproveitamento da casca como matéria-prima em biorrefinarias, além de seu impacto em outros processos industriais que utilizam a madeira como matéria-prima (Sartori et al., 2021).

Assim, a compreensão detalhada da dinâmica de formação e da proporção do cerne e da casca ao longo do desenvolvimento da árvore é fundamental para o aprimoramento genético, a tomada de decisões silviculturais e a eficiência industrial. A seleção de clones com perfis favoráveis dessas estruturas permite maximizar o rendimento industrial, reduzir perdas por descascamento, direcionar resíduos para usos de maior valor agregado e otimizar o aproveitamento da biomassa de acordo com os requisitos de cada cadeia produtiva. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da idade na produção de cerne e casca de um clone de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas árvores de um clone híbrido de eucalipto, oriundas de plantios comerciais, abrangendo três diferentes idades e locais de cultivo. As árvores com 3 anos de idade foram coletadas no município de Alagoinhas, aquelas com 5 anos em Itanagra e as de 7 anos em Nova Viçosa, todos situados no estado da Bahia.

As regiões de Alagoinhas e Itanagra possuem clima tropical com estação seca e verão chuvoso, classificadas como Aw segundo a classificação de Köppen (Figura 1A). A cidade de Nova Viçosa apresenta clima tropical úmido (Af), com temperaturas médias mensais superiores a 18 °C e elevada precipitação distribuída ao longo do ano, conforme classificação de Köppen, descrita por Alvares et al. (2013).

Foram selecionadas 15 árvores no total, sendo cinco para cada faixa etária (3, 5 e 7 anos), escolhidas com base no diâmetro médio dos talhões, admitindo uma variação máxima de 5% em relação à média determinada no último inventário florestal. A seleção considerou critérios rigorosos de sanidade, boa conformação do fuste e ausência de defeitos ou anomalias visíveis. A cubagem rigorosa foi realizada utilizando o método de Smalian, conforme descrito por Soares, Paula Neto e Souza (2011), sendo que a altura comercial foi estabelecida com base no ponto em que o diâmetro externo, incluindo casca, atingia no mínimo 6 cm (Tabela 1). Discos de 2,5 cm foram retirados nas posições de 0%, DAP (Diâmetro a Altura do Peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore para caracterização da madeira (Figura 1B).

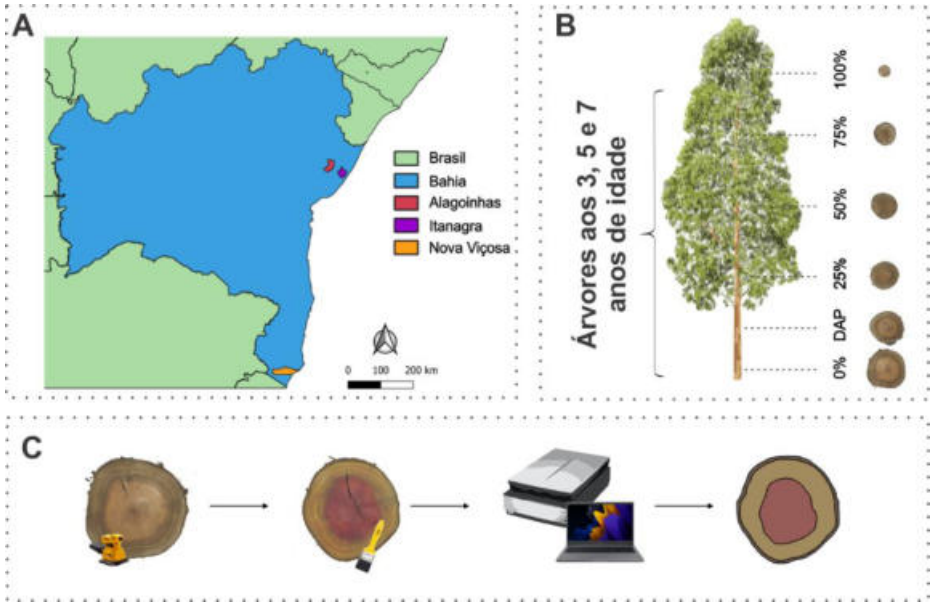
Tabela 1: Valores médios dos parâmetros dendrométricos das árvores do clone de eucalipto em diferentes idades.

Idade (anos)	DAP (cm)	Altura comercial (m²)	Volume individual (m³)
3	11,77	13,26	0,0928
5	13,73	17,60	0,1401
7	16,53	19,53	0,0810

A porcentagem de cerne foi obtida de acordo com metodologia descrita por Brito et al., (2019) (Figura1C). Os discos de todas as posições de coleta foram polidos em lixadeira de cinta com lixas de grãos 50 e 80 para melhor visualização da superfície. Traçaram-se duas retas perpendiculares de uma extremidade a outra de cada disco, passando pelo centro da medula. A delimitação do cerne e albarno foi realizada visualmente com aspersão de água ou solução de *Dimethyl yellow* para realce da coloração. Em seguida as medidas foram obtidas com o auxílio da régua graduada em milímetros e a porcentagem de cerne foi obtida de acordo com relação percentual entre a área do cerne e área do disco, como descrito por (Santos et al., 2021). Também foi realizada medição da espessura da casca em quatro posições perpendiculares e posteriormente calculada a média aritmética dessas medidas em cada disco.

Os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett foram executados com nível de significância de 5% para avaliar a normalidade e a homogeneidade da variância dos resíduos, respectivamente. Para verificar o comportamento das médias das propriedades da madeira e do consumo específico, foi aplicada a análise de variância pelo teste F, e quando necessário o teste de Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

Figura 1: Esquema metodológico de amostragem.



A: Local de coleta; B: Amostragem; C: Porcentagem de cerne, albarno e casca da madeira.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As árvores com 7 anos de idade apresentaram a maior média de porcentagem de cerne, seguidas pelas de 5 anos, enquanto as de 3 anos registraram o menor valor (Figura 2A). Esse comportamento evidencia a influência direta da idade no desenvolvimento do cerne, uma vez que sua formação está associada ao desenvolvimento fisiológico do lenho ao longo do tempo.

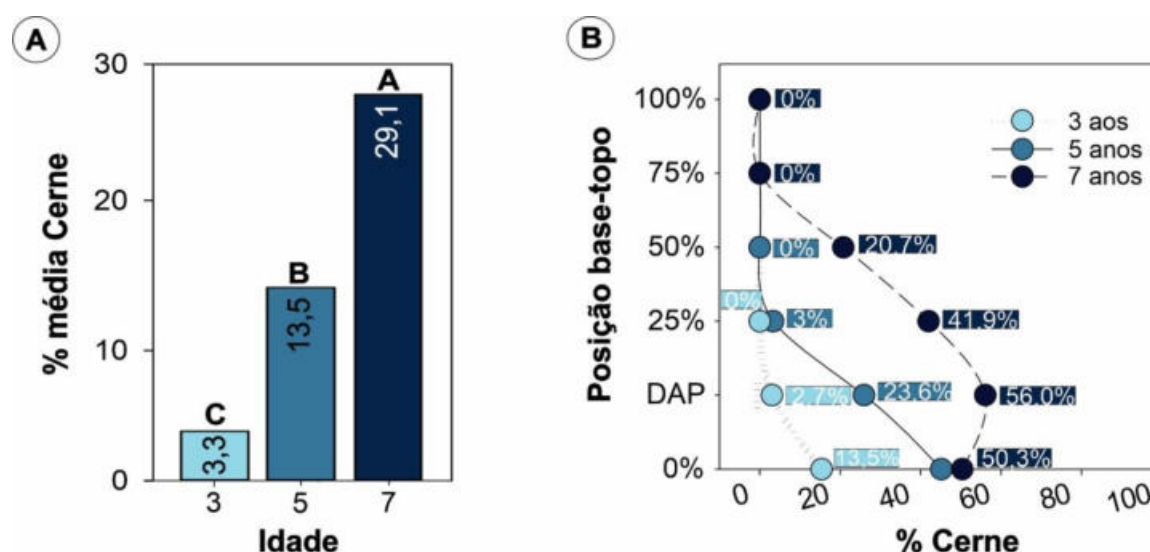
As árvores com 7 anos, cultivadas em região de clima tropical úmido (Af) e maior regime pluviométrico, apresentaram crescimento diamétrico superior em relação às de 3 e 5 anos, provenientes de áreas com clima tropical sazonal (Aw). Esse crescimento favoreceu uma maior proporção de cerne, resultado da interação entre idade avançada e condições climáticas mais favoráveis.

A Figura 2B ilustra a análise da variação percentual entre a base e o topo, que demonstrou que, nas idades de 3 e 5 anos, a maior porcentagem de cerne foi registrada na posição de 0% (base do fuste). No entanto, aos 7 anos, a maior proporção de cerne foi observada na altura correspondente ao DAP, indicando uma alteração no padrão de distribuição longitudinal do cerne com o avanço da idade.

A presença de cerne foi constatada apenas nas posições de 0% e DAP nas árvores com 3 anos de idade. Aos 5 anos, sua formação se estendeu até a posição de 25% da altura comercial do fuste. Já nas árvores com 7 anos, o cerne foi observado até a posição de 50%, não sendo identificado nas posições de 75% e 100%. Esse comportamento evidencia que, com o avanço da idade, ocorre uma progressão da formação do cerne no sentido longitudinal, embora ainda restrita às regiões inferiores e medianas do fuste.

O desenvolvimento do cerne acompanha o avanço da idade da árvore, sua proporção é maior onde o lenho é mais velho, consequentemente na base da árvore, característica comum para diversas espécies de eucalipto (BRITO et al., 2019; SANTOS et al., 2021;).

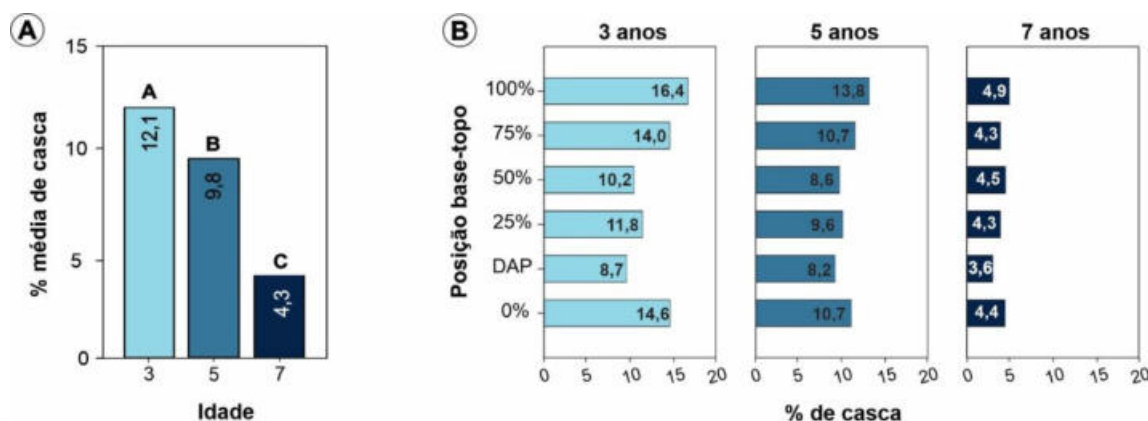
Figura 2: Variabilidade base-topo da porcentagem de cerne (A) e porcentagem média de cerne (B) das árvores de eucalipto aos 3, 5 e 7 anos de idade.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P > 0,05$).

A maior porcentagem de casca foi observada nas árvores com 3 anos de idade, apresentando uma redução progressiva ao longo do desenvolvimento das árvores (Figura 3A). Aos 7 anos, essa redução atingiu uma diferença de 7,8%, quando comparada as árvores de 3 anos. Esse comportamento é típico em povoamentos de eucalipto, uma vez que, com o avanço da idade, há uma redistribuição do crescimento favorável à biomassa lenhosa em detrimento da casca, conforme também observado por Huang et al. (2025), que relataram redução consistente na proporção de casca com o aumento da idade em híbridos de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* × *E. tereticornis*.

Figura 3: Variabilidade base-topo da porcentagem de casca (A) e porcentagem média de casca (B) das árvores de eucalipto aos 3, 5 e 7 anos de idade.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P > 0,05$).

A porcentagem base-topo da casca apresentou um decréscimo do DAP até 50% de altura, e, crescimento gradativo até o topo do fuste (Figura 3B). Na base do fuste, observa-se uma maior concentração de casca em função do acúmulo de camadas de casca externa morta. Já na porção superior da árvore, a proporção de casca torna-se relativamente elevada, devido ao menor diâmetro do tronco e à necessidade de manter a condução eficiente da seiva por meio dos tecidos do floema, que são proporcionalmente mais representativos nessa região (Foelkel, 2005).

4. CONCLUSÃO

A idade influenciou diretamente a formação de cerne e casca no clone de eucalipto estudado. O aumento da idade promove maior proporção de cerne, especialmente na base e região média do fuste, enquanto a proporção de casca diminui, favorecendo o incremento da biomassa lenhosa. Esses resultados reforçam a importância de considerar a idade no manejo, na seleção genética e no aproveitamento industrial, tanto da madeira quanto da casca, otimizando rendimento e agregando valor à biomassa florestal.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. N. F. de et al. Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117743, fev. 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C. M.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol**, 6:711–728. 2013.
- BRITO, A. S. et al. Effect Of Planting Spacing In Production And Permeability Of Heartwood And Sapwood Of *Eucalyptus* Wood. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. spe1, 2019.
- FOELKEL, C. Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 109 p. 2005.
- HUANG, R. et al. Stand Age Affects Biomass Allocation and Allometric Models for Biomass Estimation: A Case Study of Two *Eucalypts* Hybrids. **Forests**, v. 16, n. 2, p. 193, 21 jan. 2025.

SANTOS, L. M. H. et al. Variations in heartwood formation and wood density as a function of age and plant spacing in a fast-growing eucalyptus plantation. **Holzforschung**, v. 75, n. 11, p. 979–988, 25 nov. 2021.

SARTORI, C. J., MOTA, G. S., MORI, F. A., MIRANDA, I., QUILHÓ, T., & PEREIRA, H. (2022). Bark characterization of a commercial *Eucalyptus urophylla* hybrid clone in view of its potential use as a biorefinery raw material. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v.12, n.5, p. 1541–1553. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01199-7>

SOARES, C. P. B; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Editora UFV, Viçosa. 2011.

IMPACTO DA IDADE E SÍTIO DE CRESCIMENTO NA VARIABILIDADE DA DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Vaniele Bento dos Santos^{1*}; Sâmara Magdalene Vieira Nunes¹; Gustavo Jaske da Conceição¹; Stéffany de Lima Araujo¹; Thayanne Caroline Castor Neto¹; Natielly Cristine Gomes de Medeiros¹; Maria Fernanda Vieira Rocha²; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Bracell Bahia Florestal, Alagoinhas, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): vanielebento@hotmail.com*

Resumo: A densidade básica é uma das principais propriedades tecnológicas da madeira, no qual, influencia diretamente sua qualidade e desempenho industrial. Sua variação pode ser afetada por fatores genéticos, ambientais e pela idade da árvore. Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar o impacto da idade na variabilidade da densidade básica da madeira de um clone de eucalipto, cultivado em ambientes contrastantes. Foram selecionadas árvores com 3, 5 e 7 anos de idade, provenientes dos municípios de Alagoinhas, Itanagra e Nova Viçosa, respectivamente, no estado na Bahia. A densidade básica foi determinada em diferentes posições ao longo do tronco, utilizando o método da balança hidrostática. Os resultados indicaram que, aos 5 anos, as árvores apresentaram densidade básica significativamente superior em comparação às idades de 3 e 7 anos, entre as quais não houve diferença estatística. Esse comportamento divergiu do padrão clássico de aumento gradual da densidade com a idade. A menor densidade observada nas árvores de 7 anos pode estar associada ao ambiente mais úmido e ao método de amostragem empregado. Além disso, constatou-se que as árvores mais jovens apresentaram maior homogeneidade da densidade ao longo do fuste. Estes achados reforçam a influência conjunta de fatores ambientais, idade e metodologia sobre a densidade básica da madeira, evidenciando a necessidade de considerar tais variáveis no manejo e na definição de estratégias para o uso industrial da madeira jovem de eucalipto.

Palavras chave: Qualidade da madeira; Ambientes contrastantes; Variabilidade longitudinal; Base-topo.

IMPACT OF AGE AND GROWTH SITE ON VARIABILITY OF EUCALYPTUS WOOD DENSITY

Abstract: Basic wood density is one of the main technological properties of wood, directly influencing its quality and industrial performance. Its variation can be affected by genetic and environmental factors, as well as by tree age. Thus, this study aimed to analyze the impact of age on the variability of basic wood density of a eucalyptus clone cultivated in contrasting environments. Trees aged 3, 5, and 7 years were selected from the municipalities of Alagoinhas, Itanagra, and Nova Viçosa, respectively, in the state of Bahia, Brazil. Basic density was determined at different positions along the stem using the hydrostatic balance method. The results indicated that, at 5 years of age, trees showed significantly higher basic density compared to those at 3 and 7 years, between which no statistical difference was observed. This behavior diverged from the classical pattern of gradual increase in density with age. The lower density observed in 7-year-old trees may be associated with the more humid environment and the sampling method employed. Furthermore, it was found that younger trees exhibited greater homogeneity in density along the stem. These findings reinforce the combined influence of environmental factors, age, and methodology on basic wood density,

highlighting the need to consider these variables in the management and definition of strategies for the industrial use of young eucalyptus wood.

Keywords: Wood quality; Contrasting environments; Longitudinal variability; Base-top.

1. INTRODUÇÃO

A densidade básica da madeira é uma característica fundamental para determinar a qualidade da madeira destinada a múltiplos usos industriais, pois se relaciona com outras variáveis tecnológicas da madeira e com a qualidade do produto final (Ramos et al., 2024). A densidade pode variar amplamente entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre indivíduos da mesma espécie e ao longo da árvore, tanto no sentido longitudinal (base-topo) quanto radial (medula-casca) (Dimou; Tsaliki; Kitikidou, 2023).

Em espécies de *Eucalyptus*, essa propriedade também apresenta ampla variação com a idade da árvore, influenciando diretamente no desempenho industrial da madeira (dos Santos et al., 2024). A tendência geral observada é o aumento da densidade básica com o avanço da idade, reflexo da maior deposição de lignina e espessamento da parede celular.

Em plantios comerciais de *Eucalyptus benthamii* no estado do Paraná, Benin et al. (2021) demonstraram de forma clara a relação positiva entre idade e densidade básica da madeira. O estudo avaliou árvores em diferentes classes diamétricas e faixas etárias (5, 6 e 7 anos) e verificou que o incremento da idade resultou em elevação significativa da densidade básica, o que refletiu diretamente no aumento da densidade energética da madeira (Benin et al., 2021).

Neste sentido, o impacto da idade na densidade básica da madeira é um fator determinante para a qualidade tecnológica da madeira de *Eucalyptus*. A compreensão dessa relação permite a otimização dos ciclos de corte e a seleção de clones com características superiores para atender às demandas industriais (dos Santos et al., 2024). Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi analisar o impacto da idade na variabilidade da densidade básica da madeira de um clone eucalipto cultivado em ambientes contrastantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo são de um clone comercial de eucalipto, cultivado em 3 diferentes sítios no estado da Bahia. Foram selecionadas árvores com 3, 5 e 7 anos de idade, provenientes dos municípios de Alagoinhas, Itanagra e Nova Viçosa, respectivamente. As parcelas dos plantios com 3 anos possuíam área útil de 9 m², enquanto as de 5 anos apresentavam 8 m² e as de 7 anos, 6,9 m².

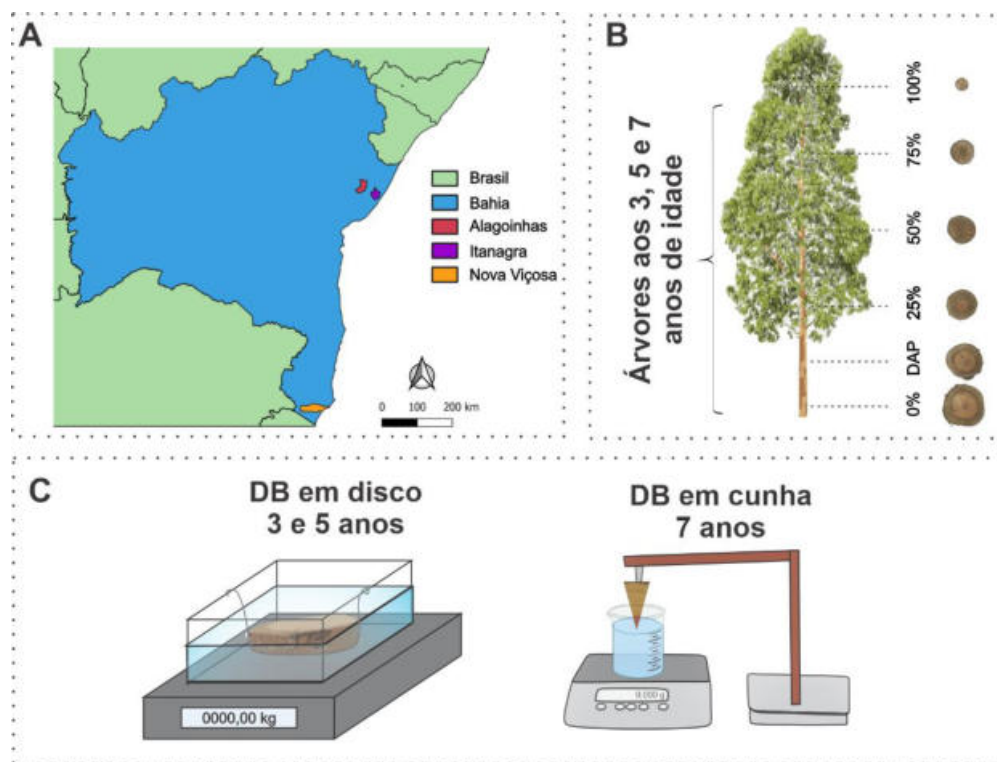
As regiões de Alagoinhas e Itanagra apresentam clima tropical, caracterizado por uma estação seca e um verão chuvoso, sendo classificadas como Aw, segundo a classificação climática de Köppen. Por sua vez, a região de Nova Viçosa possui clima tropical úmido (ou equatorial), caracterizado por temperaturas médias mensais superiores a 18 °C e precipitação abundante ao longo do ano, sendo classificada como Af, conforme Köppen (Alvares et al., 2013).

Foram coletadas 15 árvores, sendo cinco para cada idade (3, 5 e 7 anos), selecionadas com base no diâmetro médio dos talhões. A escolha das árvores considerou critérios como sanidade, conformação do fuste e ausência de defeitos ou anomalias. A cubagem rigorosa foi realizada pelo método de Smalian (Soares, Paula Neto e Souza, 2011), sendo a altura comercial definida a partir de um diâmetro mínimo de 6 cm, incluindo a casca (Tabela 1).

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros dendrométricos das árvores do clone de eucalipto em diferentes idades.

Idade (anos)	DAP (cm)	Altura comercial (m ²)	Volume individual (m ³)
3	11,77	13,26	0,0928
5	13,73	17,60	0,1401
7	16,53	19,53	0,0810

Para a análise da densidade básica da madeira, foram retirados discos de 3 cm de espessura em seis posições ao longo do tronco, correspondentes a 0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. O método da balança hidrostática foi utilizado para determinar a densidade básica da madeira, no qual, para as árvores provenientes de Alagoinhas e Itanagra, a determinação foi realizada em discos; já para aquelas oriundas de Nova Viçosa, a análise foi conduzida em cunhas (Figura 1).

Figura 1: Esquema metodológico de amostragem.

A: Local de coleta; B: Amostragem; C: Densidade básica (DB) em disco e cunha.

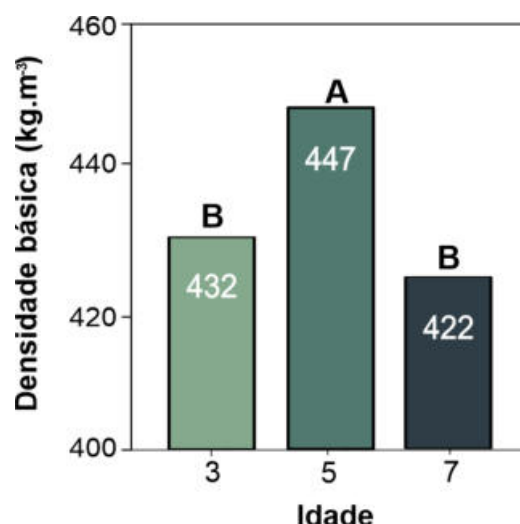
O procedimento de determinação da densidade básica consistiu na relação entre a massa seca a madeira e o volume saturado, conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Posteriormente, para verificar o impacto da idade na densidade básica da madeira de eucalipto, aplicou-se o teste de Scott-Knott com nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de densidade básica da madeira do clone eucalipto, indicaram que, aos 5 anos de idade, os materiais apresentaram densidade significativamente superior em comparação às árvores com 3 e 7 anos, entre as quais não foi observada diferença estatística. Esse comportamento diverge do padrão geralmente descrito na literatura, que aponta um aumento gradual da densidade

com o avanço da idade da árvore (Meneses et al., 2015; Santos et al., 2021). Verificou-se que, as árvores com 7 anos apresentaram valores médios de densidade 25 e 10 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ inferiores aos observados nas idades de 5 e 3 anos, respectivamente (Figura 2).

Figura 2: Densidade básica da madeira do clone de eucalipto aos 3, 5 e 7 anos de idade.



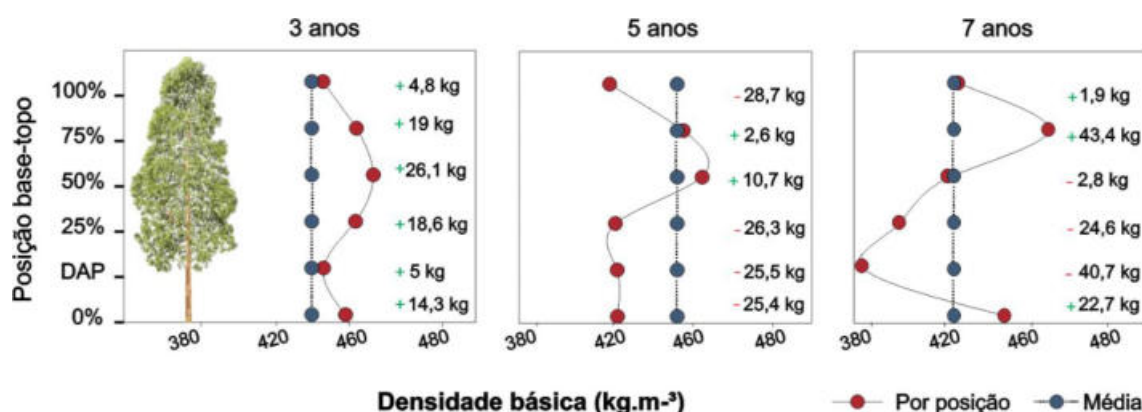
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P > 0,05$).

As condições ambientais constituem um fator relevante para explicar a diferença observada nos valores de densidade, uma vez que as árvores com 7 anos de idade foram coletadas em áreas com maior regime pluviométrico, caracterizadas por clima tropical úmido (Af), enquanto os demais materiais foram obtidos em locais com clima tropical sazonal (Aw). Segundo Zobel e van Buijtenen (1989), a densidade da madeira tende a ser inferior em ambientes com alta disponibilidade hídrica, em decorrência do crescimento acelerado, que favorece a formação de células com menor espessura de parede e maior proporção de lenho juvenil.

Além disso, a densidade da madeira aos 7 anos foi determinada a partir de amostras em forma de cunha, o que também pode ter influenciado os resultados. Gouvêa et al. (2011) explicam que a densidade da madeira pode variar conforme o tipo de amostragem, sendo que cada método possui vantagens e limitações que impactam diretamente os valores obtidos. Nesse contexto, alguns estudos indicam que a densidade determinada pelo método do disco tende a ser superior àquela obtida por meio de cunhas (Nunes et al., 2025).

Em relação à variabilidade longitudinal da madeira, verificou-se que as árvores com 7 anos de idade apresentaram maior heterogeneidade na densidade básica ao longo do fuste, com diferenças de até 41 kg em relação ao valor médio da árvore. Por outro lado, os materiais com 3 anos de idade demonstraram maior homogeneidade entre as posições base e topo (Figura 3). No entanto, não foi identificado um padrão consistente na variação da densidade básica ao longo do fuste entre os materiais avaliados, o que evidencia a complexidade e a heterogeneidade inerentes à madeira jovem de eucalipto (dos Santos et al., 2024).

Figura 3: Densidade básica da madeira do clone de eucalipto aos 3, 5 e 7 anos de idade.



4. CONCLUSÃO

A densidade básica da madeira jovem do clone eucalipto foi influenciada não apenas pela idade, mas também pelas condições ambientais e pelo método de amostragem empregado. Embora, em geral, se espere um incremento gradual da densidade com o avanço da idade, as árvores com 5 anos apresentaram valores superiores em relação às demais. Além disso, observou-se maior variabilidade longitudinal da densidade nas árvores de 7 anos, possivelmente associada ao ambiente mais úmido e ao crescimento mais acelerado, enquanto as árvores mais jovens demonstraram maior homogeneidade ao longo do fuste. Esses resultados evidenciam a complexidade da madeira jovem de eucalipto e a interação multifatorial entre os aspectos genéticos, ambientais e silviculturais, fundamentais para a definição de estratégias que visem otimizar a qualidade e o desempenho industrial da madeira.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941: Madeira: Determinação da densidade básica da madeira**. Rio de Janeiro, 2003.

ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C. M.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol**, 6:711–728. 2013.

BENIN, C. C. et al. Energy properties of *Eucalyptus benthamii* wood based on tree age and region in Guarapuava, Paraná state, Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 83, n. 4, p. 264–268, 2 out. 2021.

DIMOU, V.; TSALIKI, A.; KITIKIDOU, K. Radial and longitudinal density variations in *Abies cephalonica* and *Pinus halepensis*. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 3, p. 853–863, 24 jun. 2023.

DOS SANTOS, V.B.; DA CONCEIÇÃO, G.J.; RODRIGUES, P.D.; CIRILO, N.R.M.; ALMEIDA, M.N.F.; ROCHA, M.F.V.; GUIMARÃES, J.F.R.; CARVALHO, A.M.M.L.; GOMES, F.J.B.; et al. Impact of age and genotype on the quality of *Eucalyptus* wood for dissolving pulp. **Industrial Crops and Products**. 2024.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

MENESES, V.A., TRUGILHO, P.F., CALEGARIO, N. AND LEITE, H.G. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** 43: 101-116. 2015.

NUNES, S. M. V.; ARAUJO, S. DE L.; CONCEIÇÃO, G. J. DA; NETO, T. C. C.; CARLOS, B. M. P.; FIGUEIREDO, Y. A. DE O.; PROTÁZIO, L. B.; SILVA, P. H. M.; VIDAURRE, G. B. Influência do tipo de amostra na determinação da densidade básica da madeira jovem de eucalipto. **In: Congresso Plantações Florestais, Piracicaba, São Paulo, 2025.**

RAMOS, D. C. et al. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de quatro clones de *Eucalyptus* com idades entre 108 e 120 meses. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, p. e48302, 28 mar. 2023.

SANTOS, L.M.H., ALMEIDA, M.N.F. DE, SILVA, J.G.M., VIDAURRE, G.B., HEIN, P.R.G., SILVA, G.F., ZANUNCIO, A.J.V., et al. Variations in heartwood formation and wood density as a function of age and plant spacing in a fast-growing eucalyptus plantation. **Holzforschung** 75: 979-988. 2021.

SOARES, C. P. B; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Editora UFV, Viçosa. 2011.

ZOBEL, B. J., VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: Its causes and control**. Springer-Verlag. (1989).

CARACTERIZAÇÃO DE *Bambusa vulgaris* VISANDO SUA CONVERSÃO EM CARVÃO VEGETAL

Ricardo Fernandes Pena^{1*}; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Thaynara Silva Vieira¹; Pedro Fernandes Pacheco¹; Raquel Julia Cipriano dos Santos¹; Iara Fontes Demuner¹; Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): ricardo.pena@ufv.br

Resumo: O objetivo foi realizar a caracterização química de *Bambusa vulgaris*, visando sua conversão em carvão vegetal. Foram colhidos colmos de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* e os ramos e folhas foram removidos. Foram mensurados os teores de lignina solúvel, insolúvel, total, açúcares, extrativos totais, sílica, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo. O teor de lignina total foi de 25,7% e carbono fixo foi de 19,46%, parâmetros importantes a serem considerados na conversão termoquímica de materiais lignocelulósicos em carvão vegetal. Os teores de açúcares totais e extrativos totais foram de 62,5 e 7,18%, respectivamente. Os valores de cinzas e insolúveis em HCl (sílica) para o bambu foram de 1,82 e 0,45%, respectivamente. Conclui-se que a caracterização química (estrutural e imediata) do *Bambusa vulgaris* evidenciou alto conteúdo de lignina e carbono fixo e baixo conteúdo de açúcares e cinzas, sendo uma matéria-prima potencial para produção de carvão vegetal.

Palavras chave: Pirólise lenta; Bioprodutos; Biomassa lignocelulósica

CHARACTERIZATION OF *Bambusa vulgaris* FOR ITS CONVERSION INTO CHARCOAL

Abstract: The objective of this study was to perform the chemical characterization of *Bambusa vulgaris*, aiming at its conversion into charcoal. Bamboo stalks of the species *Bambusa vulgaris* were harvested and the branches and leaves were removed. The contents of soluble, insoluble, total lignin, sugars, total extractives, silica, ash, volatile materials and fixed carbon were measured. The total lignin content was 25.7% and the fixed carbon content was 19.46%, which are important parameters to be considered in the thermochemical conversion of lignocellulosic materials into charcoal. The total sugar and total extractive contents were 62.5 and 7.18%, respectively. The ash and HCl-insoluble (silica) values for bamboo were 1.82 and 0.45%, respectively. It is concluded that the chemical characterization (structural and immediate) of *Bambusa vulgaris* showed high lignin and fixed carbon content and low sugar and ash content, being a potential raw material for charcoal production.

Keywords: Slow pyrolysis; Bioproducts; Lignocellulosic biomass

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as indústrias consumidoras de madeira têm enfrentado dificuldades na obtenção de matéria-prima. Apesar da relevância, a produção nacional não tem acompanhado o aumento na demanda, provocando aumento nos preços do produto (IBÁ, 2024). Com a escassez na oferta de madeira e o limitado número de espécies comerciais cultivadas, tem-se observado o avanço de biomassas alternativas para suprir demandas industriais, dentre as quais destacam-se os bambus. Os bambus são espécies de gramíneas perenes de caules lenhosos, com rápido crescimento, elevada produtividade e baixo custo de manutenção (KUMAR *et al.*, 2022).

O *Bambusa vulgaris* é uma espécie de bambu que se destaca pelo elevado valor econômico, devido a sua alta adaptabilidade, rápido crescimento, propriedades favoráveis (MENDES *et al.*, 2010) e características morfofisiológicas que permitem a composição de plantios comerciais (BRONDANI *et al.*, 2017).

O bambu é uma importante fonte renovável de biomassa e pode substituir a madeira em diversas aplicações, como na produção de painéis reconstituídos e compósitos (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, sua aplicação vem sendo amplamente estudada para a construção civil (NUNES *et al.*, 2021) e produção de polpa celulósica (BORGES *et al.*, 2018).

O uso do colmo do bambu para produção de carvão vegetal também é uma alternativa viável de agregação de valor. O carvão vegetal de bambu já foi estudado utilizando fornos do tipo mufla (BRAND *et al.*, 2020; BRITO, 2020; GOETZ *et al.*, 2022). Por esses estudos foi demonstrado algumas propriedades semelhantes com o carvão vegetal eucalipto, como o poder calorífico. No entanto, devido à escassez de madeira e necessidade de uso de matérias primas alternativas, é necessário estudos de produção de carvão de bambu em maiores escalas, como nos sistemas fornos-fornalha.

Características de processo, combinadas a matéria-prima, permitem a produção de carvão vegetal com diferentes propriedades físicas e químicas (MUKHERJEE & ZIMMERMAN, 2013), para isso, é necessário o conhecimento das características químicas da matéria prima utilizada. Nesse contexto, esse estudo teve como objetivo realizar a caracterização química (estrutural e imediata) de *Bambusa vulgaris*, visando sua conversão em carvão vegetal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados colmos de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, adquiridos nas áreas pertencentes ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), nas coordenadas -20.773326°, -42.876346°. Os colmos de bambu foram colhidos e os ramos e folhas foram removidos. Para a determinação da composição química (imediata e estrutural), os colmos foram convertidos em cavacos e posteriormente transformados em serragem, por meio do moinho tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 2001). Foi utilizada a fração que passou pela peneira nº 16 internacional, com malha de 40 *mesh* e ficou retida na peneira com malha de 60 *mesh*.

Para a determinação da composição química estrutural, os teores de extrativos na biomassa foram determinados de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998), em duplicatas, apenas alterando o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno. Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, conforme o procedimento proposto pela norma TAPPI T 222 om-88 (TAPPI, 1999), ajustado subtraindo o teor de sílica (insolúveis em HCl). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme TAPPI um-250 (TAPPI, 2000), e foi considerado teor de lignina total a soma dos dois valores. O teor de açúcares foi mensurado de acordo com a norma SCAN-CM 71:09 (Scandinavian Pulp and Paper, 1993).

Para a determinação da composição química imediata da biomassa, foram determinados os teores de materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) de acordo com a norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização química estão apresentados na Tabela 1. O teor de lignina total foi de 25,7%, valor superior ao encontrado por Borges *et al.* (2021) de 23,2% e por Silva *et al.* (2019) de 18,0%, autores que também trabalharam com *Bambusa vulgaris*. O teor de lignina total é um parâmetro importante a ser considerado na conversão termoquímica de materiais lignocelulósicos em carvão vegetal. O rendimento gravimétrico do processo de carbonização e qualidade do carvão vegetal estão diretamente relacionados aos teores de lignina presentes no material (SANTOS *et al.*, 2016).

Tabela 1: Caracterização química do *Bambusa vulgaris*.

Parâmetros (%)	<i>Bambusa vulgaris</i>	
Lignina solúvel	1,18 (3,92)	
Lignina insolúvel	24,52 (1,09)	
Lignina total	25,70 (1,21)	
Açúcares	Glicanas	43,60 (0,57)
	Galactanas	0,40 (0,00)
	Xilanas	17,60 (0,35)
	Arabinanas	0,90 (0,00)
	Mananas	-
Extrativos totais	7,18 (0,17)	
Insolúveis em HCl	0,45 (7,71)	
Cinzas	1,82 (8,90)	
Materiais voláteis	78,72 (2,35)	
Carbono fixo	19,46 (6,68)	

Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

O teor de açúcares total encontrado para o *Bambusa vulgaris* foi de 62,5%. Os carboidratos da madeira (celulose e hemiceluloses) possuem uma menor resistência a degradação térmica, quando comparados a lignina (BARREIROS *et al.*, 2021). Por isso, busca-se biomassas lignocelulósicas com menor conteúdo de açúcares para produção de carvão vegetal. Borges *et al.* (2021) encontrou 63,4% de açúcares em *Bambusa vulgaris*, valor ligeiramente superior ao encontrado nesse estudo.

Zanuncio *et al.* (2014) reportaram em um estudo comparativo entre *Eucalyptus* e *Corymbia*, em que os teores extrativos totais variaram de 3,86 a 10,37%, que estes se correlacionaram quanto ao rendimento gravimétrico, a densidade relativa aparente e ao poder calorífico do carvão vegetal. O teor de extrativos totais encontrado (7,18%) foi inferior ao encontrado por Borges *et al.* (2021), de 8,9%, e similar ao de Silva *et al.* (2019), de 7,6%, podendo influenciar o processo de conversão e qualidade do carvão vegetal produzido com o bambu.

De forma geral, o teor de cinzas é usualmente mais elevado em gramíneas do que em coníferas e folhosas (GUIMARÃES JUNIOR *et al.*, 2013). Os valores de cinzas e insolúveis em HCl (sílica) para o *Bambusa vulgaris* foram de 1,82 e 0,45%, respectivamente. Costa *et al.* (2022) encontrou os valores de cinzas de 2,47% e insolúveis em HCl de 0,22% para *Bambusa vulgaris* e Borges *et al.* (2021) um valor de 0,65%. Obter um valor baixo de cinzas e sílica é favorável para a produção de carvão vegetal. Quanto maior a quantidade de materiais minerais na matéria-prima, maior a produção de cinzas no carvão (CRUZ *et al.*, 2015), podendo impactar a qualidade do carvão produzido.

Os valores de materiais voláteis e carbono fixo encontrados nesse estudo foram de 78,72 e 19,46%, respectivamente. Vale *et al.* (2017) encontrou valores médios de carbono fixo para o *Bambusa vulgaris* variando de 15,53 a 18,81% e de materiais voláteis de 77,01 a 78,92%, dependendo da idade. A variabilidade dos resultados desse estudo, quando comparado a outros trabalhos

envolvendo *Bambusa vulgaris*, evidencia a importância da caracterização da matéria-prima antes do processo de conversão em produtos, como o carvão vegetal.

4. CONCLUSÃO

A caracterização química (estrutural e imediata) do *Bambusa vulgaris* evidenciou alto conteúdo de lignina e carbono fixo e baixo conteúdo de açúcares e cinzas, sendo uma matéria-prima potencial para produção de carvão vegetal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Florestal/UFV, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (PPGCF/UFV), a CAPES, FAPEMIG, CNPq, EMBRAPPII e a Sociedade de Investigações Florestais (SIF) pela oferta de recursos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1762 – 84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**. Philadelphia, USA, 2013.

BARREIROS, R. M., RIBEIRO, G. P., DIAS, K. B., GOUVÊA, C. F., REIS, A. M. F., SILVA, G. C. Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto. In: Oliveira, R.J.O.; Moreira, R.C. **Recursos naturais: Energia de biomassa florestal**, v.1, p.146-164, 2021.

BORGES, F. P., COLODETTE, J. L., BORGES, F. J. G. Utilização do bambu como matéria-prima na obtenção de polpa celulósica voltada à fabricação de papel de embalagem sackraft. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.4, n.4, p.0405–0411, 2018.

BRAND, M. A., GAA, A. Z. N., BALDUINO JUNIOR, A. L., CUNHA, A. B. D., RIOS, P. D. A. Potencial do uso de quatro espécies de bambu para a produção de carvão vegetal para uso doméstico. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 60-71, 2020.

BRITO, J. M. A. L. **Carbonização sustentável para valorização do bambu *Bambusa tuldoide*: produção de carvão ativado e caracterização do bio-óleo recuperado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2020. 116p.

BRONDANI, G. E.; OLIVEIRA, L.S.; FURLAN, F.C.; RIBEIRO, A.S. Estabelecimento in vitro de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl e *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyne. IN: Drumond, P. M.; Wiedman, G. (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje. p. 86-102, 2017.

COSTA, M. M., SILVA, W. H. M., BITTENCOURT, R. C., BORGES, F. P., SILVA, P. M., VALVERDE, S. R. **Pre-hydrolysis kraft dissolving pulp from *Bambusa vulgaris* and *Dendrocalamus asper* bamboos biomass**. PREPRINT available at Research Square, p. 1-18, 2022.

CRUZ, C. R., FERREIRA, R. S., ALMEIDA, J. M. Propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. cultivados na região do Recôncavo da Bahia. **MAGISTRA**, v. 27, n. 2, p. 188-198, 2015.

GOETZ, N. M., KUNST, S. R., MORISSO, F. D. P., OLIVEIRA, C. T., MACHADO, T. C. Estudo da eficiência do uso de bambu como bioadsorvente na remoção de azul de metileno. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n. 03, p. e20220065, 2022.

GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, v. 33, p. 33-42, 2013.

IBA - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2024**. Disponível em:<<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>>. Acesso em: 23 de abril 2025.

KUMAR, P. S.; SHUKLA, G.; NATH, A. J.; CHAKRAVARTY, S. Soil properties, litter dynamics and biomass carbon storage in three-Bamboo species of sub-himalayan region of Eastern India. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, n. 1, p. 12, 2022.

MENDES, S.C.; MOLICA, S.G.; FERREIRA, R.L.C.; CÉSPEDES, G.H.G. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no Nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v.34, n.6, p.991-999, 2010.

MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v. 193, p. 122-130, 2013.

NUNES, G.M; JÚNIOR, A. S. S.; PASTOR, J.S. O uso do bambu como material estrutural na construção civil. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 55, p. 152-164, 2021.

SANTOS, R. C. D., CARNEIRO, A. D. C. O., VITAL, B. R., CASTRO, R. V. O., VIDAURRE, G. B., TRUGILHO, P. F., CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v.26, p.657-669, 2016.

SILVA, C. R.; DOS REIS PEREIRA, M.A.; BARATA, T. Q. F. As pesquisas científicas de design e bambu no brasil: ênfases e lacunas. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 77-88, 2021.

SILVA, N. G., FARIAS, D. C., BATISTA, A. C., DOS SANTOS, A. J. G., DA COSTA, D. S., DA SILVA SOUZA, J. A. Determinação de características químicas de fibras curtas de bambu (*Bambusa vulgaris*) a partir da determinação de extrativos, lignina e holocelulose. **Brazilian Journal of development**, v. 5, n. 7, p. 9282-9287, 2019.

SCANDINAVIAN PULP AND PAPER. Paper and Board Testing Committee. **SCAN-CM 71:09: Pulps Carbohydrate Composition**. Scan Test Methods, Stockholm, 1993.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T-222 om-88: Acid – insoluble lignin in wood and pulp.** Atlanta: Tappi Technology Park, 1999.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. **UM 250: Acid-Soluble Lignin in Wood and Pulp.** Atlanta: Tappi Technology Park, 2000.

ZANUNCIO, A. J. V., CARVALHO, A. G., TRUGILHO, P. F., MONTEIRO, T. C. Extrativos e propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 38, p. 369-374, 2014.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA EM JUNTAS DE IPÊ CONFECCIONADAS COM DIFERENTES ADESIVOS

Felipe Gabriel Santos Araújo^{1*}; Saulo José da Costa Lima²; Érica Patrícia Pinto Queiroz³; Paulo Henrique Lobo Neves⁴;
Michel Picanço Oliveira¹; Bruno Duarte Lourenço de Araújo¹; Victor Hugo Pereira Moutinho⁵; Fernando Wallase
Carvalho Andrade⁵

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

² Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná, Brasil

³ Suzano S.A., Espírito Santo, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

⁵ Instituto de Biodiversidade e Floresta, Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil

**felipe.gabriel.araujo@gmail.com*

Resumo: A colagem de madeira representa uma tecnologia estratégica para o desenvolvimento sustentável da indústria moveleira e da construção civil. Na região amazônica, surge como oportunidade criar novas cadeias produtivas que possam aliar inovação tecnológica com conservação ambiental. Essa abordagem possibilita o aproveitamento integral dos recursos madeireiros, reduzindo desperdícios e fomentando uma economia florestal mais eficiente e sustentável. Neste contexto, o presente estudo avaliou a eficiência dos adesivos poliuretano (PU), acetato de polivinila (PVAc) e isocianato (EPI), na colagem da madeira de Ipê, visando aplicações em Madeira Laminada Colada (MLC). Os corpos de prova foram preparados utilizando gramatura de 250g/m² e pressão de 4 toneladas por 24 horas. Os resultados demonstraram diferenças significativas no desempenho dos adesivos: o PU apresentou a maior resistência ao cisalhamento da linha de cola (14,47 MPa) e eficiência de 104,55%. O PVAc mostrou resultados consistentes, com 14,42 MPa de resistência e 96,14% de eficiência. Já, o EPI obteve desempenho inferior (8,29 MPa e 66,59% de eficiência), possivelmente devido a dificuldades de penetração ou incompatibilidade química com o material lenhoso. Conclui-se que tanto PU quanto PVAc são alternativas viáveis para produção de MLC com Ipê, sendo o PU mais indicado para aplicações que demandem máxima resistência. Já o EPI requer ajustes em sua formulação ou no processo de aplicação. Os resultados reforçam o potencial de espécies amazônicas manejadas para produtos engenheirados, contribuindo para a sustentabilidade do setor florestal.

Palavras-chave: madeira laminada colada; madeiras nativas; propriedades mecânicas.

BONDING PERFORMANCE OF DIFFERENT ADHESIVES IN GLUED LAMINATED IPÊ TIMBER

Abstract: Wood bonding represents a strategic technology for the sustainable development of the furniture and construction industries. In the Amazon region, it emerges as an opportunity to establish new value chains that combine technological innovation with environmental conservation. This approach enables the full utilization of timber resources, reducing waste and fostering a more efficient and sustainable forest-based economy. In this context, the present study evaluated the performance of polyurethane (PU), polyvinyl acetate (PVAc), and emulsion polymer isocyanate (EPI) adhesives in bonding Ipê wood, aiming at applications in glued laminated timber (Glulam). The specimens were prepared using an adhesive spread rate of 250 g/m² and a pressure of 4 tons for 24 hours. The results

revealed significant differences in adhesive performance: PU exhibited the highest shear strength of the glue line (14.47 MPa) and an efficiency of 104.55%. PVAc showed consistent results, with a shear strength of 14.42 MPa and an efficiency of 96.14%. In contrast, EPI showed lower performance (8.29 MPa and 66.59% efficiency), possibly due to poor penetration or chemical incompatibility with the wood substrate. It is concluded that both PU and PVAc are viable alternatives for manufacturing Glulam with Ipê, with PU being more suitable for applications requiring maximum strength. EPI, on the other hand, may require formulation adjustments or improvements in the bonding process. The results reinforce the potential of managed Amazonian species for engineered wood products, contributing to the sustainability of the forest sector.

Keywords: glued laminated timber; native woods; mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

As florestas nativas e plantadas constituem a principal fonte de matéria-prima madeireira para o mercado interno brasileiro. Contudo, conforme Souza *et al.* (2020), as exigências do mercado quanto à qualidade e procedência sustentável dos produtos madeireiros vêm se intensificando, demandando maior conhecimento das propriedades tecnológicas desses materiais para ampliar suas aplicações.

A expansão dos produtos de madeira engenheirada nos mercados nacional e internacional tem possibilitado o aproveitamento de materiais com propriedades abaixo dos padrões normativos, tornando-os concorrentes da madeira maciça. Esse cenário pode contribuir para tornar o manejo florestal na Amazônia brasileira mais sustentável, uma vez que muitas espécies nativas de alto valor comercial, conhecidas como "madeiras de lei", têm sido exploradas de forma intensiva, o que pode levar à sua extinção local (Reis *et al.*, 2014; Cardoso *et al.*, 2012). Stragliotto *et al.* (2020) destacam que a exploração desses recursos deve obrigatoriamente seguir Planos de Manejo Florestal Sustentável, devidamente regulamentados e fiscalizados por órgãos competentes, assegurando assim a perenidade dos ecossistemas e a sustentabilidade da produção.

Dentre os diversos produtos engenheirados, destacam-se os painéis de madeira laminada colada (MLC), formados pela união de lâminas de madeira com fibras paralelas, coladas sob pressão (Pfeil; Pfeil, 2003; Szücs, 2006). Sua produção é comumente baseada em espécies de rápido crescimento oriundas de florestas plantadas, como Eucalipto e Pinus, cujas características físico-mecânicas são bem conhecidas (Maciel *et al.*, 2004). No entanto, para fomentar o desenvolvimento de indústrias na região amazônica voltadas à produção de MLC, é fundamental avaliar o uso de resíduos de madeiras nativas ou espécies locais plantadas, minimizando os riscos ecológicos associados a espécies exóticas.

A utilização do Ipê neste estudo visa aproveitar resíduos madeireiros (como peças menores de serraria) para a produção de madeira laminada colada, agregando valor a subprodutos e reduzindo o desperdício. Essa abordagem promove o manejo florestal sustentável, ao incentivar o uso eficiente de recursos nativos e diminuir a pressão sobre árvores de dimensões estruturais. Além disso, a avaliação de diferentes adesivos busca garantir a qualidade das ligações, ampliando as aplicações técnicas dessa madeira em produtos engenheirados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A espécie foi selecionada de acordo com a disponibilidade dos materiais lenhosos, do estoque do pátio de toras, da empresa Algimi Florestal, a qual trabalha com material proveniente de manejo

florestal sustentável com espécies extraídas da Floresta Nacional do Tapajós, no município de Belterra – PA. Foram utilizadas amostras de Ipê (*Handroanthus* sp., $\rho_{12\%} = 0,8 \text{ g/cm}^3$), coletadas de pranchas tangenciais após desdobro primário. Antecedendo a colagem o material foi climatizado a 65% de umidade e 20°C até massa constante.

As amostras foram lixadas e as juntas coladas com três adesivos industriais sendo: base de poliuretano (PU), acetato de polivinila (PVAc) e isocianato (EPI), na gramatura de 250g.m⁻² e sob pressão de 4 toneladas por 24h. O preparo do adesivo foi realizado de acordo com as instruções do fabricante e a aplicação foi feita com pincel de forma manual.

Para cada tratamento foram confeccionados 18 corpos de prova de acordo com as diretrizes da norma D905 (ASTM, 2005) para avaliar a resistência da linha de cola (f_{gv0}) e 18 corpos de prova para a determinação da resistência ao cisalhamento da madeira controle (f_{v0}), em seguida avaliou-se a eficiência do adesivo ($E\%$), segundo a equação 1.

$$E\% = \frac{f_{gv.0}}{f_{v.0}} \times 100 > 90\% \quad (1)$$

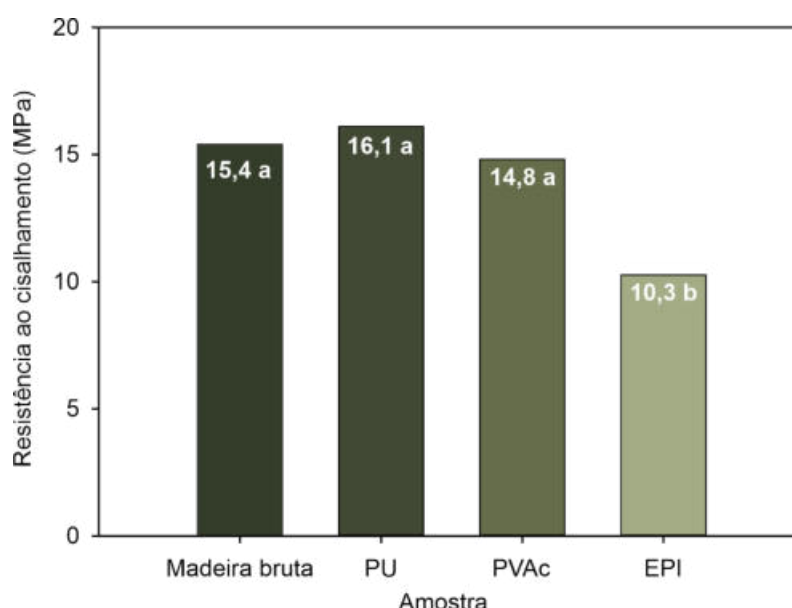
No qual: $f_{gv.0}$ = resistência ao cisalhamento da linha de cola, MPa; $f_{v.0}$ = resistência ao cisalhamento da madeira bruta, MPa.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de significância. Os dados foram analisados com o auxílio do pacote *agricolae* no software RStudio 4.3.0 (R core team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 1 que as amostras coladas com os adesivos PU e o PVAc possuem os maiores valores médios de resistência ao cisalhamento da linha de cola, não diferindo estatisticamente entre si. Essa elevada resistência atribuída a juntas coladas com madeiras de alta densidade se deve, principalmente, ao fato de possuir parede celular espessa capaz de suportar maiores tensões (Santiago *et al.*, 2018).

Figura 1: Valores médios de resistência ao cisalhamento da madeira bruta de Ipê e da linha de cola das peças fabricadas com poliuretano (PU), acetato de polivinila (PVAc) e isocianato (EPI)



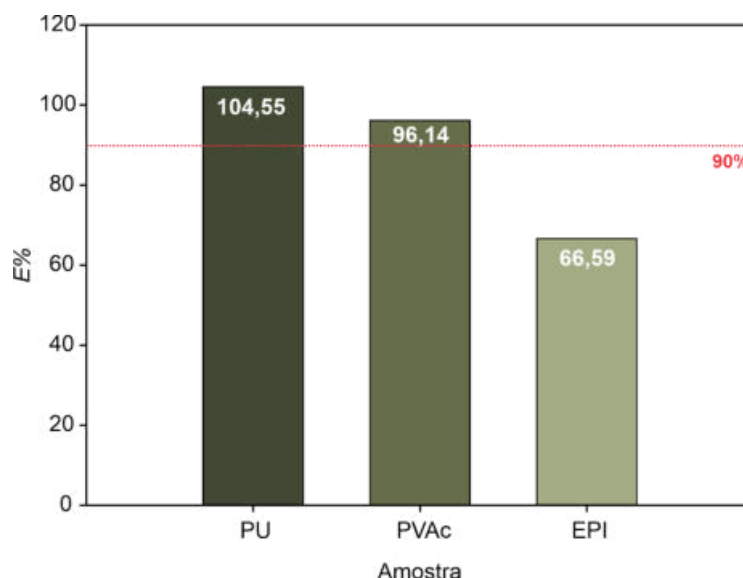
Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Os valores observados para a resistência ao cisalhamento da linha de cola, das amostras coladas com PU e PVAc, são próximos aos obtidos por Pimentel *et al.* (2021) que encontraram uma tensão de ruptura de 14,47 MPa para o adesivo de poliuretano e 14,42 MPa para o adesivo de acetato de polivinila em indivíduos do gênero *Handroanthus*.

As amostras fabricadas com o adesivo EPI possuem um menor valor, quando comparado com os demais materiais. De acordo com Gonçalves *et al.* (2016) esse fato pode estar associado a fatores como o pH do adesivo, que pode causar ausência de pontes de hidrogênio disponíveis para viabilizar a ligação adesivo-madeira. Vale ressaltar que as características físicas, químicas e anatômicas da madeira também possuem efeito significativo nas ligações adesivas, principalmente a densidade e a porosidade, que oscilam entre lenho inicial–tardio, cerne–alburno e lenho juvenil–adulto (Carneiro *et al.*, 2007; He *et al.*, 2019).

Os resultados apresentados na figura 2 evidenciaram que o poliuretano (PU) alcançou a maior eficiência de colagem, superando ligeiramente o acetato de polivinila (PVAc) com 96,14% e demonstrando que ambos os adesivos atingiram patamares superiores a 90% de eficiência.

Figura 2: Valor percentual da eficiência da colagem de acordo com o adesivo utilizado



Apesar de sua maior viscosidade (8000 cPs), que teoricamente poderia limitar sua penetração, o PU mostrou-se capaz de estabelecer juntas coladas de alta resistência; o PVAc também manteve um desempenho consistentemente alto (96,14%), corroborando estudos anteriores que destacam sua eficácia em aplicações com madeiras tropicais (Pimentel *et al.*, 2021). Em contraste, o EPI apresentou eficiência significativamente menor, ficando abaixo do limiar de 90% considerado satisfatório. Esse desempenho inferior pode estar relacionado a fatores como dificuldade de penetração na estrutura celular do material ou incompatibilidade química com alguns componentes da madeira.

4. CONCLUSÃO

Para a colagem do Ipê, o poliuretano (PU) destaca-se como a opção mais eficiente, seguido pelo acetato de polivinila (PVAc). O isocianato (EPI), nas condições testadas, mostrou-se menos adequado, sugerindo que seu uso nesta aplicação pode exigir ajustes nos parâmetros de colagem ou formulação do adesivo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading**. ASTM D905-03. 2005.

CARDOSO C.C.; MOUTINHO V. H. P.; MELO L. O.; SOUSA L. K. V. S.; SOUZA M. R. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **CIENCIAS AGRÁRIAS: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v 55, n. 3, p. 176-183, jul./set. 2012.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua Importância na Indústria Madeireira. In: OLIVEIRA, J. T. S. O.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro**. Vitória: Aquarius, 2007. 302p.

GONÇALVES, F. G. et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de Pinus sp. coladas em temperatura ambiente. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 7, n. 1, 2016.

HE, Q., ZHAN, T., ZHANG, H., JU, Z., HONG, L., BROSSE, N., & LU, X. Variation of surface and bonding properties among four wood species induced by a high voltage electrostatic field (HVEF). **Holzforschung**, v. 73, n. 10, p. 957-965, 2019.

MACIEL, A. S. et al. Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm., poliestireno (ps) e polietileno tereftalato (pet). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.257-266, 2004.

PFEIL, W., PFEIL, M., Estruturas de madeira, 6ª ed., Rio de Janeiro, LTC, 2003.

PIMENTEL, T. S., WIMMER, P., CARVALHO, H. R., ROITMAN, L., & DEL MENEZZI, C. H. S. Resistência ao cisalhamento da linha de cola em madeiras tropicais amazônicas. **Scientia Forestalis**, 49(132), e3753, 2021.

REIS A. R. S.; URBINATI C. V.; LISBOA P. L. B.; ALMEIDA E. F.; FREITAS A. D. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies do gênero *Erismia rudge*, conhecidas como Quarubarana, comercializadas no mercado madeireiro do estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 805, set. 2014.

SANTIAGO, S. B., GONÇALVES, F. G., LELIS, R. C. C., SEGUNDINHO, P. G. D. A., PAES, J. B., & ARANTES, M. D. C. Eucalypts wood glue with natural adhesives. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, 2018.

SOUZA, E. S. C. *et al.* Propriedades químicas de madeiras nativas comerciais. **Multitemas**, p. 113-126, 2020.

STRAGLIOTTO, M. C.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C. Indústrias madeireiras e rendimento em madeira serrada na Amazônia Brasileira. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade; Digital, C., Ed**, p. 499-518, 2020.

SZÜCS, C. A. Madeira Laminada Colada (MLC). Portal Remade. Curitiba, 2006.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA DO TRONCO DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

Amanda Ladeira Carvalho^{1*}; Isabelle Genova²; Saulo Affonso Hygino³; William Moreira de Oliveira¹; Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; João Gilberto Meza Ucella Filho¹; Iara Fontes Demuner¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Brasil.

³ Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

amanda.ladeira@ufv.br

Resumo: A macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem ganhado destaque como cultura promissora para a bioeconomia, com potencial de aproveitamento integral de seus coprodutos. O estipe, tronco da palmeira, é obtido durante a renovação dos plantios e ainda carece de estudos sobre suas propriedades. Este trabalho teve como objetivo caracterizar morfolologicamente as fibras do estipe da macaúba e avaliar seu potencial energético, visando seu aproveitamento como coproduto em sistemas produtivos sustentáveis. O estudo foi realizado com amostras de árvores adultas. Foram realizadas análises de teor de umidade, densidade aparente, composição química imediata, teor de lignina, poder calorífico superior (PCS) e morfologia das fibras. O estipe possui densidade aparente de 582 kg/m³, PCS de 19,1 MJ/kg e teor de cinzas de 1,5%, que indicam bom potencial para a geração de energia. As fibras possuem características adequadas para aplicação na produção de papel. A variação observada na fração parede evidencia a variabilidade na estrutura das fibras no sentido centro/periferia. Conclui-se que o estipe pode ser valorizado como coproduto da cadeia produtiva da macaúba.

Palavras chave: Estipe; Aproveitamento de resíduos; Economia circular; Sustentabilidade

PHYSICOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) TRUNK

Abstract: *Acrocomia aculeata*, commonly known as macaúba, has gained attention as a promising crop for the bioeconomy, with potential for the integral use of its coproducts. The stipe, or trunk of the palm, is generated during plantation renewal and still lacks studies regarding its properties. This study aimed to morphologically characterize the fibers of the macaúba stipe and evaluate its energy potential, in order to support its use as a coproduct in sustainable production systems. The research was conducted using samples from mature trees. Analyses included moisture content, bulk density, proximate chemical composition, lignin content, higher heating value (HHV), and fiber morphology. The stipe has bulk density of 582 kg/m³, HHV of 19.1 MJ/kg and ash content of 1.5%, which indicate good potential for energy generation. The fibers have characteristics suitable for application in paper production. The observed variation in wall fraction highlights the structural variability of fibers along the radial (center-to-periphery) direction. It is concluded that the stipe can be valorized as a coproduct within the macaúba production chain.

Keywords: Stipe; Residue valorization; Circular economy; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem se destacado como uma palmeira promissora para o agronegócio brasileiro por sua capacidade de produzir óleos com grande potencial para diferentes usos (Fávaro e Rocha, 2022).

Historicamente explorada sob um regime extrativista, a espécie tem despertado maior interesse no setor agroflorestal, graças ao seu potencial como fonte de biocombustíveis e compostos bioquímicos. Esse avanço tem impulsionado o início de cultivos comerciais organizados, com sistemas produtivos em expansão em diversas regiões do Brasil (Aguilar-Aguilar et al., 2024). Nesse cenário, surgem novas demandas relacionadas à sustentabilidade da cadeia produtiva, especialmente quanto ao manejo e à valorização dos resíduos lignocelulósicos gerados ao longo de seu ciclo de vida.

Para que a cadeia produtiva da macaúba se torne ainda mais sustentável, é necessário considerar o aproveitamento integral da planta, inclusive do estipe. Embora, ainda não se conheça com precisão o tempo de rotação ideal para cultivos de macaúba, considerando que a espécie pode apresentar longevidade produtiva superior a cem anos (Motoike e Hilger, 2024), o estipe não é atualmente gerado de forma contínua por estar associado apenas ao fim do ciclo produtivo.

No entanto, caso haja necessidade de renovação antecipada dos cultivos comerciais, por baixa performance ou outras limitações, o estipe poderá representar um volume significativo de biomassa a ser destinado. Nesse contexto, é necessário buscar alternativas tecnológicas e economicamente viáveis para a destinação do estipe, evitando o descarte inadequado e contribuindo para a agregação de valor na cadeia produtiva.

Para que se possa propor usos racionais e sustentáveis para esse material lignocelulósico, é importante, primeiramente, compreender suas características físico-químicas e morfológicas. Entretanto, até o presente momento, não há registros na literatura científica que abordem de forma específica e sistemática a caracterização do estipe de *A. aculeata*.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química e morfológica do estipe da macaúba e avaliar seu potencial energético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas duas palmeiras adultas de *Acrocomia aculeata* com idade de 16 anos, provenientes de um plantio experimental da empresa S.OLEUM, localizada em Viçosa, Minas Gerais. De cada indivíduo, foi retirado um disco transversal da região correspondente ao DAP.

Para a determinação do teor de umidade, foram retiradas cunhas radiais dos discos, as quais foram seccionadas em pequenas amostras e submetidas à secagem em estufa a 105 ± 2 °C até massa constante, conforme a norma EN 14774-2 (DIN, 2009).

A densidade aparente foi determinada com o uso de um medidor de densidade DSL910, baseado no princípio da lei do empuxo. Para isso, foram retirados corpos de prova com dimensões 3 x 2 x 2 cm em três posições distintas do disco (centro, região intermediária e periferia), os quais foram imersos em água destilada para medição do volume deslocado. O cálculo foi feito com base na razão entre a massa e o volume deslocado, conforme instruções do fabricante do equipamento.

Para a determinação do teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas, teor de extrativos e lignina e poder calorífico superior (PCS), foi utilizada serragem obtida por moagem dos de cunhas opostas, com posterior peneiramento para obtenção da fração com granulometria entre 40 e 60 mesh. As análises foram realizadas segundo a norma ABNT NBR 8112 (1986) para composição imediata. Os teores de lignina insolúvel e solúvel foram determinados de acordo com a norma TAPPI T222 om-97 e TAPPI um-250 e o PCS foi determinado por calorimetria adiabática em bomba calorimétrica.

A caracterização morfológica das fibras foi realizada utilizando o analisador de fibras VALMET FS5 ANALYZER, a partir de um macerado preparado quimicamente. Para o preparo do macerado, fragmentos do estipe foram submetidos a tratamento com uma solução 1:1 de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, segundo o método preconizado por Dadswell (1972). As amostras obtidas foram lavadas, dispersas em meio aquoso e analisadas quanto ao comprimento, largura e espessura da parede celular.

Com base nesses parâmetros, o diâmetro do lume (DL) foi calculado pela seguinte equação:

$$DL = Largura\ da\ fibra - 2 \times Espessura\ da\ parede$$

Adicionalmente, foi determinada a fração parede (FP), expressa como a proporção percentual da largura da fibra ocupada pela parede celular, utilizando a seguinte fórmula:

$$FP\% = (Espessura\ da\ parede \div Largura\ da\ fibra) \times 100$$

Todas as análises foram realizadas em triplicata por árvore, e os resultados expressos em termos de média e desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físico-químicas e a morfologia das fibras do tronco de macaúba estão apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1: Propriedades físico-químicas do estipe de macaúba.

Propriedades físico-químicas								
Densidade Aparente (kg/m³)	Teor de umidade (%)	Materiais voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)	Lignina insolúvel (%)	Lignina solúvel (%)	Lignina total (%)	PCS (MJ/kg)
582 (0,3)	12,5 (0,73)	76,4 (0,47)	22,1 (0,42)	1,5 (0,05)	28,1 (0,23)	1,7 (0,04)	29,8 (0,19)	19,1 (0,14)

Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

A densidade aparente (582 kg/m³) é compatível com valores médios relatados para madeiras de densidade média, como o eucalipto (500–650 kg/m³) (Foelkel, 2009). Essa densidade pode ser associada à fração parede das fibras, que foi de 24,09%, uma vez que maior proporção de parede celular em relação ao lume confere maior massa por volume, influenciando diretamente essa propriedade. Essa característica influencia no comportamento térmico da biomassa. Fibras com paredes celulares mais espessas tendem a apresentar maior resistência térmica, devido à maior quantidade de lignina e celulose cristalina associadas às paredes (Quian et al., 2023).

O teor de materiais voláteis (76,4%) foi elevado, indicando que o estipe possui um alto conteúdo de compostos que se volatilizam em processos térmicos, favorecendo a combustão e gaseificação. O carbono fixo (22,1%), por outro lado, é moderado, mas pode ser elevado via pirólise, o que aumentaria significativamente o poder calorífico do material e sua eficiência como biocombustível sólido. O teor de cinzas (1,5%) foi baixo, comparável ao de madeiras duras (1–2%), o que reduz problemas operacionais em sistemas térmicos, como incrustações e escória.

As análises também revelaram teores de lignina total (29,8%), com predominância da fração insolúvel (28,1%), o que é esperado para monocotiledôneas. Esse valor é superior ao observado em espécies como *Eucalyptus* sp. (Wastowski, 2018), mas semelhante ao de gramíneas lignocelulósicas. A lignina de monocotiledôneas é rica em unidades p-hidroxifenil (H), estruturalmente mais simples

e resistentes à degradação (Wastowski, 2018). Essa característica confere maior estabilidade térmica, favorecendo aplicações energéticas, mas é desfavorável à digestão química nos processos de polpação e branqueamento, dificultando o uso em papel e celulose (Borges et al., 2018).

O poder calorífico superior (19,1 MJ/kg) é compatível com outras biomassas vegetais utilizadas para geração de energia, como eucalipto (18–20 MJ/kg) e bambu (18,5–20,5 MJ/kg), confirmando o potencial energético do estipe.

Na análise morfológica das fibras está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Morfologia do estipe de macaúba.

Morfologia				
Comprimento (mm)	Largura (µm)	Espessura de Parede (µm)	Diâmetro do Lume (µm)	Fração Parede (%)
2,84 (0,08)	29,16 (0,76)	7,06 (2,24)	15,04 (3,85)	24,09 (7,18)

Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

O comprimento médio de 2,84 mm é classificado como fibras moderadamente longas (IAWA, 1989), sendo maiores do que as fibras do eucalipto (Carvalho et al., 2022), considerados como fibras curtas, menores que as fibras longas dos pinus, e aproximando-se de gramíneas como o bambu (Chaudhary et al., 2024). A largura média de 29,16 µm, espessura de parede de 7,06 µm e o diâmetro do lume de 15,04 µm revelam características compatíveis com fibras de monocotiledôneas. A variação da fração parede (24,09% ± 7,18), com desvio padrão elevado, indica heterogeneidade da estrutura anatômica entre as regiões radialmente distribuídas do estipe (centro à periferia).

Essas características sugerem que o estipe da macaúba possui potencial para aplicações energéticas. Embora o teor de carbono fixo encontrado (22,1%) não seja considerado elevado, ele pode ser significativamente incrementado por meio de processos de pirólise, resultando na produção de biocarvão (biochar) com propriedades superiores, tornando-o mais eficiente para uso energético.

Além disso, o biocarvão produzido pode ser aplicado em remediação de solos, sequestro de carbono e aumento da fertilidade agrícola, agregando valor ambiental e econômico ao coproduto (Guo, et al.,2020; Luo, et al., 2023; DeLuca, et al., 2024). Essa rota tecnológica alinha-se aos princípios da bioeconomia de baixo carbono e da economia circular, oferecendo uma solução sustentável para um resíduo gerado pontualmente no ciclo de renovação dos plantios.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o estipe da macaúba, tradicionalmente considerado um resíduo sem destinação definida, apresenta propriedades morfológicas e físico-químicas que o qualificam como um coproduto com potencial energético, sendo essa uma alternativa estratégica para o uso integral da planta. A destinação adequada desse material, sobretudo em cenários futuros de renovação dos cultivos comerciais, contribuirá para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da macaúba, minimizando impactos ambientais e maximizando o aproveitamento de recursos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 8 p. 1986.

AGUILAR-AGUILAR, F. A., MENA CERVANTES, V. Y., GARCÍA-SOLARES, S. M., & HERNÁNDEZ ALTAMIRANO, R. Exploring the biorefinery potential of *Acrocomia aculeata*: A native Mexican palm for sustainable resource valorization. **Waste and Biomass Valorization**, 2024.

BORGES, F. P., COLODETTE, J. L., & GOMES, F. J. B., Utilização do bambu como matéria-prima na obtenção de polpa celulósica voltada à fabricação de papel de embalagem sackraft. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, (2018).

CARVALHO, A. L., SILVA, L. S., DA SILVA, P. M., DA COSTA, M. M., DEMUNER, I. F., & CARNEIRO, A. C. O. Morfologia de fibras de polpas celulósicas para a produção de papel, **Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**. Goiânia/GO, Brasil (2022).

CHAUDHARY, U.; MALIK, S.; RANA, V.; & JOSHI, G.. Bamboo in the pulp, paper and allied industries. **Advances in Bamboo Science**, 2024.

DADSWELL, H. E. **The anatomy of Eucalypt wood**. CSIRO Forest Products Laboratory, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.

DELUCA, T. H., GUNDALE, M., MACKENZIE, M. D., GAO, S., & JONES, D. Biochar effects on soil nutrient transformations. In: **Biochar for environmental management**. Taylor & Francis, 2024.

DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. EN 14774-2: Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method. Alemanha: CEN: 9 p. 2009.

FÁVARO, S.P.; ROCHA, J. D., A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização, **Embrapa Agroenergia**, 2022

FOELKEL, C. **Eucalyptus and its wood properties**. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 2009.

GUO, M; SONG, W.; TIAN, J. Biochar-facilitated soil remediation: mechanisms and efficacy variations. **Frontiers in Environmental Science**, 2020.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

LUO, L., WANG, J., LV, J., LIU, Z., SUN, T., YANG, Y., & ZHU, Y. G. Carbon sequestration strategies in soil using biochar: advances, challenges, and opportunities. **Environmental Science & Technology**, 2023.

MOTOIKE, S. Y. & HILGER, T. Macaúba: do plantio à colheita. **Oficina de Texto**, 2024.

QIAN, C. et al. Development of all-cellulose sustainable composites from directionally aligned bamboo fiber scaffold with high strength, toughness, and low thermal conductivity. **Chemical Engineering Journal**, v. 473, p. 145437, 2023.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry **T 222 om-02 – Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta: Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2002.

TAPPI- Technical Association of the Pulp and Paper Industry **T 250 cm-85 – Sampling and testing wood pulp shipments for moisture**. Atlanta: Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1985.

WASTOWSKI, A. D. Química da madeira. **Editora Interciência**, 2018.

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO À BASE DE ENDOCARPO DE *Macadamia integrifolia*, FRAGMENTOS DE CHINELO, MADEIRA DE *Eucalyptus* sp. E LIGNOSULFONATO.

José Patrício Santana de Almeida^{1*}; Gilmara Pires de Moura Palermo¹; Roberto Carlos Costa Lelis¹; Emilyly Soares Gomes da Silva²; Fabricio Gomes Gonçalves².

^{1*} Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): jpsantana@ufrj.br

Resumo: O objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar as propriedades mecânicas de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso de um compósito desenvolvido a partir da junção de resíduos de endocarpo de macadâmia, calçado do tipo ‘chinelo-de-dedo’ e lignosulfonato. O compósito foi desenvolvido com a seguinte proporção: 65% de partículas de madeira de *Eucalyptus* spp., 20% de partículas de endocarpo de macadâmia, 10% de partículas de calçado do tipo ‘chinelo-de-dedo’ e 5% de lignosulfonato, com três repetições. As partículas foram moídas e classificadas em peneira de abertura de 0.85mm. O material foi pesado e posteriormente, homogeneizado com o adesivo AGT-1315, um adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona. O material após homogeneizado foi assentado em um molde com dimensões de 43 cm de comprimento e 43 cm de largura, para a formação do colchão para prensagem. A prensagem foi realizada com a prensa hidráulica com aquecimento SL-12, de forma contínua, à 120°C, com pressão de 45 kgf/cm² por, aproximadamente, 8 minutos. Os valores médios de MOR e MOE para flexão estática; a tração perpendicular e o arrancamento de parafusos foram, respectivamente, 11.46 MPa e 2103MPa; 0,77MPa e 982,96N, que são propriedades que classificam o compósito como não estrutural para uso interno em condições secas, de acordo com a NBR-14810.

Palavras-chave: borracha; reaproveitamento; compósito madeira-borracha.

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE BASED ON *Macadamia integrifolia* ENDOCARP, FRAGMENTS OF FLIP-FLOP SHOES, *Eucalyptus* sp. WOOD AND LIGNOSULFONATE

Abstract: The objective of this study was to develop and characterize the mechanical properties of static bending, perpendicular tensile strength, and screw pullout of a composite developed from the combination of macadamia endocarp residues, flip-flop footwear, and lignosulfonate. The composite was developed with the following proportion: 65% *Eucalyptus* spp. wood particles, 20% macadamia endocarp particles, 10% flip-flop footwear particles, and 5% lignosulfonate, with three replicates. The particles were ground and classified through a 0.85 mm sieve. The material was weighed and subsequently homogenized with AGT-1315, a castor oil-based polyurethane adhesive. After homogenization, the material was placed in a mold measuring 43 cm long and 43 cm wide to form the pressing mattress. Pressing was performed with a SL-12 hydraulic press with continuous heating at 120°C and a pressure of 45 kgf/cm² for approximately 8 minutes. The average MOR and MOE values for static bending, perpendicular tension, and bolt pullout were, respectively, 11.46 MPa and 2103 MPa; 0.77 MPa and 982.96 N, which are properties that classify the composite as non-structural for indoor use in dry conditions, according to NBR-14810.

Keywords: Natural rubber; reuse; wood-rubber composite.

1. INTRODUÇÃO

Compósito é todo o material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades das fases que o constituem, de tal modo que é obtido uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2002). Portanto, combinar materiais heterogêneos que apresentem diferentes propriedades, desde que seja feito com metodologia e técnicas adequadas, podem apresentar características superiores a materiais homogêneos.

Segundo a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos- ALMACO, o consumo de compósitos no Brasil, em 2021, aumentou 17,8%, o que representa um valor total de R\$ 3,960 bilhões. Dentre os setores que aumentaram seu consumo destacam-se a construção civil, com 36,6% do consumo brasileiro de compósitos de poliéster em 2021, à frente de transportes (19,5%), corrosão/saneamento (16,6%), lazer/piscinas (11,7%), energia eólica (5,9%), energia elétrica (3,9%), náutico (2%) e vestuário (1%). Quando separada apenas a demanda de compósitos à base de resina epóxi, a indústria de energia eólica lidera com 92,6% da demanda total, seguida pela indústria de óleo e gás com 3,3% e por último a indústria de eletroeletrônicos com 2,4% (ALMACO, 2022). Apesar do aumento de consumo, os compósitos que utilizam matérias convencionais, como resinas e fibra de vidro em sua produção estão aumentando de preço, pois essas matérias-primas estão se tornando mais caras e escassas.

Nesse contexto, essa escassez traz uma demanda por novas matérias-primas para o setor de compósitos, que busca por alternativas sustentáveis e encontra oportunidade no reaproveitamento de resíduos gerados por processos produtivos já estabelecidos. Três exemplos claros de atividades com alta produção de resíduos são aqueles gerados no beneficiamento da noz macadâmia, na fabricação de calçados tipo ‘chinelo-de-dedo’ e na produção de celulose/papel, e que podem ser revalorizados para atender à demanda por compósitos mais ecológicos e inovadores.

No beneficiamento da noz a taxa média de recuperação é em torno de 25%, ou seja, a cada 25g de amêndoa produzida, 75g de resíduos (casca e carpelo) são gerados (PIMENTEL et al., 2007; PIZA; MORIYA, 2017). Com o aumento do consumo da noz macadâmia no mercado interno do Brasil, Camargo (2024) após entrevistar a Associação Brasileira de Macadâmia- ABM (2024) para o jornal “O Globo”, afirma que o Brasil em 2024 representará 2,2% das 300 mil toneladas da produção mundial, isto é, 6,5 mil toneladas de macadâmia colhidas e, parte será beneficiada, em solo brasileiro. Ou seja, aproximadamente 4,8 mil toneladas de resíduos serão geradas.

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de calçados - ABICALÇADOS (2023), em relatório sobre 2022, 48,3% da produção de calçados nacional foi de chinelos, com um total de, aproximadamente, 410 milhões de pares. Os chinelos de borracha microporosa são de difícil reciclagem devido ao seu baixo valor agregado e alto custo do processo, logo, somente um terço das 3,6 toneladas de chinelos coletados em rios próximos a Ilha do Governador, foram reciclados com êxito (BVRio, 2022)

Desse modo, este trabalho tem como objetivo desenvolver um compósito à base de endocarpo de *Macadamia integrifolia*, fragmentos de calçado do tipo chinelo-de-dedo, madeira de *Eucalyptus* sp. e lignosulfonato.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados no estudo foram provenientes: i) da unidade industrial de beneficiamento TRIBECA, localizada na Fazenda Santa Marta, Município de Pirai/RJ (resíduo do endocarpo da macadâmia), ii) de coleta individual feita por catadores autônomos e recolhidas no

Centro de reciclagem Cidade do Aço, na cidade de Volta Redonda/RJ (calçados do tipo chinelo-de-dedo), iii) da empresa Borregarard (lignosulfonato), iv) adquirida de empresa produtora de painéis de MDP (madeira de *Eucalyptus* sp.) e v) adquirido de comércio varejista (adesivo bicomponente à base de poliuretano vegetal, derivada do óleo de mamona, denominado de Imperveg AGT 1315).

O endocarpo da macadâmia, madeira de eucalipto e fragmentos de calçado do tipo chinelo-de-dedo foram moídos em moinho de facas e classificados em um jogo de peneiras de abertura de 1.70 mm e 0.85 mm. As partículas utilizadas no compósito foram as que ficaram retidas na peneira de menor abertura, 0.85 mm.

O compósito foi desenvolvido em triplicata, a partir das seguintes proporções: 65% de partículas de madeira de *Eucalyptus* spp., 20% de partículas de endocarpo de macadâmia, 10% de partículas de calçado do tipo chinelo-de-dedo e 5% de lignosulfonato.

Para evitar entupimento do aspersor da encoladeira, pois o adesivo AGT-1315 apresentava alta viscosidade e baixo tempo de formação de gel, a homogeneização das partículas (madeira, macadâmia, fragmentos de calçado e lignosulfonato) com o adesivo foi feita de forma manual.

Após homogeneização, o material foi transferido para a caixa formadora do colchão, com dimensões de 43 cm de comprimento (c), 43 cm de largura (l) e 1,28 cm de espessura (e). Nesta etapa, o material foi uniformemente distribuído, para que não houvesse desnível na superfície do compósito e que toda a sua superfície entrasse em contato com a chapa da prensa de forma uniforme, garantindo assim, uma prensagem correta. Com o colchão formado, as duas faces do colchão foram cobertas com folhas de alumínio para evitar a adesão do material a chapa da prensa.

Para a prensagem, foi feito o pré-aquecimento do equipamento por, pelo menos, 1 hora de antecedência e passado o tempo necessário, o colchão previamente preparado foi posicionado no interior da prensa de forma centralizada. Os parâmetros de prensagem adotados foram: temperatura de 120°C, pressão de 45 kgf/cm² por, aproximadamente, 8 minutos.

Os painéis prensados foram identificados e acondicionados em local arejado até o seu resfriamento, e em seguida levados para ser aclimatado em câmara climática ajustada em 65 ± 5% de umidade relativa e 20 ± 3°C de temperatura. A umidade de equilíbrio do compósito foi considerada quando o resultado de duas pesagens subsequentes do corpo-de-prova, em um intervalo de 24 h, não ultrapassasse mais que 0,1 % da massa do corpo de prova, segundo a norma NBR-14810.2 (ABNT, 2006).

Os parâmetros mecânicos (flexão estática, tração perpendicular ou ligação interna e arrancamento de parafuso) foram determinados de acordo com adaptações feitas à NBR 14810-2 (ABNT, 2006).

Para determinação da flexão estática foram utilizados dezoito corpos de prova de dimensões 310 x 50 x 12,8 mm. O corpo de prova foi apoiado em dois apoios equidistantes, com distância de 20 vezes a espessura do compósito. A carga foi aplicada de forma constante, no centro do corpo de prova até sua ruptura. Na máquina de ensaio universal, foi obtido os valores de carga quando no Limite de Proporcionalidade e no momento da Ruptura, e foram usados para determinação do MOR e MOE de acordo com as equações 1 e 2.

$$MOR = \frac{1,5*(P*D)}{B*(E)^2} \quad (1)$$

$$MOE = \frac{P_1*D^3}{d*4*B*E^3} \quad (2)$$

Em que: MOE: Mód. De Elasticidade (N/mm²); MOR: Mód. de Ruptura (N/mm²); P: carga na ruptura (N); P1: carga no limite proporcional (N); D: distância entre os apoios do aparelho (mm); d: deformação, referente a P1 (mm); B: largura do corpo-de-prova (mm); e E: espessura do corpo-de-prova (mm).

Para a Tração Perpendicular foram utilizados dez corpo-de-prova de dimensões 50 x 50 x 12,8 mm, e quando apresentavam superfície muito irregular, foram ligeiramente lixados para uma boa fixação dos blocos de tração. Para cada corpo-de-prova tiveram dois blocos de tração, em madeira, colados nas faces superior e inferior dos corpo-de-prova com adesivo termofusível (cola hot melt), ureia-formol, PVAc ou outro adesivo indicado para colagem dos blocos de tração aos corpo-de-prova. Na máquina de ensaios universal, foi anexado o novo corpo-de-prova (bloco de tração – corpo-de-prova – bloco de tração) nas garras para o ensaio, e o corpo foi ensaiado e a carga no momento da ruptura foi obtida, e a resistência à tração perpendicular foi obtida por meio da equação 3.

$$TP = \frac{P}{S} \qquad (3)$$

Em que: TP: Resistencia à Tração Perpendicular (N/mm²); P: carga na ruptura (N); S: área da superfície (mm²).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de MOR e MOE na flexão estática, de ligação interna obtidas no ensaio de tração perpendicular (TP) e os de arrancamento de parafuso (AP) podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios das propriedades mecânicas

Repetição	Flexão Estática		TP (MPa)	AP (N)
	MOR (MPa)	MOE (MPa)		
1	11,77	1893,26	0,78	1054,81
2	10,68	2086,54	0,78	935,56
3	11,92	2328,11	0,74	958,51
Média	11,46	2102,64	0,77	982,96

Observa-se que esses valores estão acima do permitido para a norma de painéis de partículas bem como, para painéis não estruturais, para uso interno e em condições secas, denominado tipo P2 (ABNT, 2006).

Iwakiri (2005) declarou que a natureza da matéria-prima influencia diretamente nas propriedades dos painéis. Como o endocarpo de macadâmia é denso e resistente, ele pode ter contribuído para o aumento da rigidez do compósito produzido. No entanto, para que haja êxito no desempenho do compósito, deve-se atentar para a porcentagem de endocarpo usado. Ferreira (2023) observou que, em menores proporções, o uso da casca de macadâmia pode ser viável na fabricação de painéis, desde que os parâmetros de prensagem sejam otimizados.

Assim, outras matérias-primas que podem ter contribuído para o melhor desempenho do compósito foram o lignosulfanato e a borracha. Rosa e Hillig (2016) destacam que o uso dele como adesivo, especialmente em misturas com ureia-formaldeído, pode melhorar as propriedades mecânicas dos painéis, e contribuir para elevação da ligação interna.

No que diz respeito à borracha, o alto valor de resistência ao arrancamento de parafuso (AP) pode estar relacionado à sua presença, conforme aponta Bertolini (2014), que identificou contribuições da borracha de pneu na melhoria da resistência à tração em painéis compostos.

O valor de MOR foi semelhante ao encontrado por Teixeira (2002) que variou entre 9.47 MPa a 12.9 MPa.

4. CONCLUSÃO

O compósito produzido com endocarpo de macadâmia, borracha e lignosulfonato apresentaram desempenho mecânico superior aos limites exigidos pela norma NBR 14810-2 para painéis tipo P2 e indicam viabilidade técnica e ambiental na utilização desses resíduos e adesivos alternativos, destacando seu potencial para aplicações sustentáveis em painéis não estruturais, como painéis de vedação e fechamento, que são fixados em uma estrutura principal e tem função apenas de separar ambientes, utilizados no ramo da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2006. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS - ABICALÇADOS. **Relatório Anual 2022**. ABICALÇADOS, 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/EBDai>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS- ALMACO. **Consumo de compósitos cresceu 17,8% em 2021**. ALMACO, 2022. Disponível em: <https://encr.pw/o44Vu>. Acesso em: 14 de maio de 2024.

BERTOLINI, M. S. **Avaliação de propriedades termoacústicas de painéis multicamadas com resíduos de madeira, borracha de pneus e poliuretana de mamona**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014.

BVRio. **Montanhas de chinelos: mar poluído é retrato dos desafios em logística reversa**. BVRio, 2022. Disponível em: <https://shre.ink/ev01>. Acesso em: 14 de maio de 2024.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5 ed. John Wiley & Sons. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2002.

CAMARGO, I. **Macadâmia para todos: como produtores brasileiros estão tentando desgomertizar a iguaria**. Associação Brasileira de Nozes, Castanhas e Frutas Secas (ABNC), 2024. Disponível em: <https://encurtador.com.br/USpMU>. Acesso em: 19 de maio de 2024.

FERREIRA, B. S. **Avaliação da utilização da casca de noz macadâmia na produção de painéis aglomerados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UNESP, 2023.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

PIMENTEL, L. S.; CARLOS EDUARDO, J. A.; SILVA, V.; BRUCKNER, C.H. Estudo de viabilidade econômica na cultura da noz-macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300018>.

PIZA, P. L. B. T.; MORIYA, L. M. Cultivo da macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p. 39–45, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-444/13>.

ROSA, T. S.; HILLIG, E. Utilização de lignossulfonato de amônio como adesivo na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), v.7, n.2, 2016.

TEIXEIRA, D. E.; MOREIRA, J. M. M. Á. P.; COSTA, A. F. da. Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 72–80, 2002.

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA DE *Pouteria oblanceolata* (TUTURUBÁ)

Luidy Henrique da Silva Ferreira¹; Lucas Gabriel Vieira Rodrigues¹, Nelivelton Gomes Dos Santos¹, Madson Alan Rocha De Sousa¹, Maria Naruna Felix de Almeida^{1*}

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade do Estado do Pará, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): narunafelix@gmail.com

Resumo: A modificação térmica da madeira é um processo que altera sua composição física, visando melhorar as propriedades tecnológicas da madeira como estabilidade dimensional, redução do teor de umidade de equilíbrio, homogeneidade ou cor. O Tuturubá (*Pouteria oblanceolata*) é uma espécie de árvore nativa da região amazônica, utilizada na construção civil, de modo que o tratamento térmico pode melhorar suas qualidades para esse fim. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico, em duas diferentes temperaturas e em dois intervalos de tempo, na perda de massa e na densidade aparente de Tuturubá. Toretos foram retirados de quatro árvores. Amostras nas dimensões de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm foram pesadas em balança analítica e medidos com paquímetro digital antes e após o tratamento. Foram preparados no total 40 amostras, 8 amostras por tratamento (duas de cada árvore), sendo T0: Amostras não tratadas, T1: 180°C por 1h e 30 min, T2: 180°C por 3h, T3: 200°C por 1h e 30 min e T4: 200° por 3h. A perda de massa da madeira de tuturubá variou entre 3,47 e 3,58% entre tratamentos. Observou-se também uma redução consistente da densidade aparente, proporcional ao aumento da temperatura, de 0,55 g cm⁻³ para T1, 0,65 g cm⁻³ para T2, 0,81 g cm⁻³ para T3 e 1,18 g cm⁻³ para T4. Estudos que descrevam o comportamento da densidade básica, contrações e constituintes químicos da madeira dessa espécie são necessários para consolidar novas metodologias que valorizem o material no mercado.

Palavras-chave: Espécies nativas; Caracterização física, Termorretificação.

EFFECT OF THERMAL MODIFICATION ON THE APPARENT DENSITY OF *Pouteria oblanceolata* (TUTURUBÁ) WOOD

Abstract: Thermal modification of wood is a process that alters its physical composition, aiming to improve technological properties such as dimensional stability, reduction of equilibrium moisture content, uniformity, or color. Tuturubá (*Pouteria oblanceolata*) is a tree species native to the Amazon region, used in civil construction, for which thermal treatment may enhance its suitability. The aim of this study was to evaluate the effect of thermal treatment, at two different temperatures and two time intervals, on mass loss and apparent density of tuturubá wood. Logs were obtained from four trees. Samples measuring 2.0 × 3.0 × 5.0 cm were weighed on an analytical balance and measured with a digital caliper before and after the treatment. A total of 40 samples were prepared, 8 per treatment (two from each tree), as follows: T0 – untreated samples, T1 – 180°C for 1 hour and 30 minutes, T2 – 180°C for 3 hours, T3 – 200°C for 1 hour and 30 minutes, and T4 – 200°C for 3 hours. The mass loss of tuturubá wood ranged from 3.47% to 3.58% across treatments. A consistent reduction in apparent density was also observed, proportional to the increase in temperature: 0.55 g cm⁻³ for T1, 0.65 g cm⁻³ for T2, 0.81 g cm⁻³ for T3, and 1.18 g cm⁻³ for T4. Further studies describing the behavior of basic density, shrinkage, and chemical constituents of this species' wood are needed to support the development of new methodologies that add value to the material in the marketplace.

Keywords: Native species; Physical characterization; Thermal treatment.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um importante objeto de comercialização e uso nas indústrias de móveis, na produção de pisos, portas e janelas, na construção civil, na geração de energia, na indústria de papel e celulose, entre outros produtos. A grande vantagem de se trabalhar com a madeira é o motivo de ser um produto de matéria-prima renovável, o que faz dela uma potência no que diz respeito à exportação (TAKESHITA, 2011).

O tuturubá (*Pouteria oblanceolata*) é uma das espécies de madeira comercializadas na Região Norte e em alguns estados do Nordeste. Segundo o Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, esta espécie tem ocorrência no Brasil, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru e Venezuela. No Brasil, o tuturubá ocorre nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Pará e Maranhão. A madeira de tuturubá é utilizada frequentemente na fabricação de carrocerias, cruzetas, esquadrias, escadas, coberturas, pisos, vigas e construção de edificações. Apesar das várias finalidades dessa madeira na construção civil, conforme destacado por (CRUZ, 2021), ainda são escassos os trabalhos que apresentam a caracterização física desta espécie.

Para usar eficientemente um recurso é preciso entender suas características e a melhor forma de manejá-las a favor do produto final. Neste sentido, uma das grandes preocupações no uso da madeira é diminuir sua instabilidade dimensional e aumentar sua durabilidade natural, associadas a este material por sua natureza anisotrópica e biológica. Melhorando as suas múltiplas características é possível aumentar o valor agregado da madeira e a competitividade do setor que utiliza seus produtos (SILVA, 2012).

Países tropicais como o Brasil apresentam índices elevados de problemas quanto ao ataque da madeira por fungos e insetos. A madeira, quando exposta a estes agentes, sofre deterioração e decrescem suas propriedades mecânicas, químicas, físicas e biológicas. Assim, torna-se relevante o uso de técnicas que propiciem maior durabilidade à mesma. Há várias décadas, com o intuito de melhorar a estabilidade dimensional e a vida útil de espécies empregadas no setor madeireiro são usados tratamentos com preservantes, apesar de ainda existir dificuldade em se dar um destino adequado aos resíduos provenientes da madeira tratada. Este fato abre espaço para uso de outras técnicas, como por exemplo, o tratamento térmico (SILVA, 2012).

O tratamento térmico ou termorreificação da madeira é baseado no aquecimento de amostras em faixas de temperaturas e tempos que sejam inferiores à carbonização, alterando propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira (CADEMARTORI *et al.*, 2013). Alguns trabalhos já constataram que os tratamentos térmicos que utilizam temperaturas entre 120°C e 200°C, em diferentes espécies, além de melhorar a variação dimensional podem aumentar a dureza superficial, melhorar a compatibilidade da superfície com componentes orgânicos, reduzir a flexibilidade, provocar escurecimento e diminuir a resistência mecânica (XAVIER, 2013).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do tratamento térmico, em duas diferentes temperaturas e em dois intervalos de tempo, na perda de massa e na densidade aparente de Tuturubá (*Pouteria Oblanceolata*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira do presente estudo foi coletada na propriedade particular Gênesis - Salém, localizada no km 49 da BR-222 (margem esquerda), no município de Dom Eliseu – PA, sob as coordenadas 47°49'6,967''W e 04°32'29,352''S. A propriedade apresenta área total de 589,59 ha, sendo 471,39 ha como área de efetivo manejo. Quatro árvores foram selecionadas aleatoriamente para

estudo posterior com base em seu diâmetro à altura do peito (DAP) e altura comercial. Toretas medindo 7 cm de espessura e 100 cm de comprimento foram retiradas de quatros indivíduos da mesma espécie, *Pouteria Oblanceolata* (Tuturubá), e foram enviadas ao Laboratório Multidisciplinar de Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Campus Paragominas/PA.

De cada árvore foram obtidas dez amostras medindo 2,0 cm x 3,0 cm x 5,0 cm (comprimento radial x tangencial x longitudinal), totalizando 40 amostras. Logo após, foi feita a secagem a 60 °C em estufa por 24h, para aclimação das amostras antes dos ensaios de modificação térmica. Depois, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g e medidos com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As amostras foram submetidas a quatro tratamentos térmicos, sendo 8 amostras por tratamento (duas de cada árvore). Os tratamentos foram os seguintes: 08 corpos de prova não tratados (T0), 08 corpos de prova tratados a 180°C por 1h e 30 min. (T1), 08 corpos de prova tratados a 180°C por 3h (T2), 08 corpos de prova tratados a 200°C por 1h e 30 min. (T3) e 08 corpos de prova tratados a 200° por 3h (T4).

As temperaturas de modificação térmica foram escolhidas com base no trabalho de Leite *et al.* (2024), em que estes autores obtiveram redução significativa da densidade aparente e na perda de massa a partir da temperatura de 200°C; e os tempos utilizados foram escolhidos com base no trabalho de Anjos (2014).

Para o tratamento térmico, as amostras foram colocadas no forno mufla até atingirem a temperatura desejada, e em seguida os corpos de prova foram mantidos pelo tempo estabelecido de acordo com cada tratamento. Terminada a modificação térmica, os corpos de prova foram resfriados em dessecador, pesados e medidos a semelhança do tratamento testemunha, para a determinação das dimensões na condição de modificação térmica. Logo após, as informações do estudo foram colocadas em uma planilha do Excel para o cálculo da densidade aparente, análise da perda de massa.

A densidade aparente foi determinada de acordo com a recomendação e adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997), em que a massa absolutamente seca da madeira foi medida em uma balança de precisão e o volume foi medido por meio das dimensões da amostra com o auxílio de um paquímetro digital. O cálculo foi realizado pela equação 1.

$$Da = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Em que: Da = densidade aparente (g/cm³); M = massa seca (g); e V = volume da amostra (cm³).

A perda de massa foi determinada apenas para as amostras tratadas termicamente, pela relação entre a diferença da massa seca antes e após a modificação térmica, sendo calculada pela equação 2.

$$P. M. = \frac{M_{nt} - M_t}{M_{nt}} \times 100 \quad (1)$$

Em que: P.M. = perda de massa (%); M_{nt} = massa seca antes do tratamento (g); e M_t = massa seca após o tratamento (g).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados não apresentaram normalidade e homogeneidade de variância, por isso os resultados foram analisados na forma de estatística descritiva comparando médias, desvio padrão e coeficiente de variação.

A perda de massa da madeira de tuturubá variou entre 3,47 e 3,58% entre tratamentos. (Tabela 1). Esse comportamento é esperado e se deve principalmente, à degradação térmica da fração mais sensível da parede celular, sendo as hemiceluloses como principal responsável por tal perda (ESTEVEZ, PEREIRA, 2009). Com a modificação térmica, ocorre a secagem da madeira além da liberação de compostos voláteis (CO, CO₂, ácidos orgânicos e aldeídos), resultando na diminuição da massa da madeira tratada.

Tabela 1: Resultados da Densidade Aparente e Perda de Massa antes e depois da modificação térmica

Tratamentos	DA antes da MT (g cm ⁻³)	DA depois da MT (g cm ⁻³)	Perda de Massa
T0	0,916 (± 0,17) 1,9%	-	-
T1	0,927 (± 0,12) 1,3%	0,852 (±0,49) 5,8%	3,50(±0,26) 7,4%
T2	0,927 (±0,15) 1,6%	0,862 (±0,42) 4,9%	3,47(±0,19) 5,5%
T3	0,917 (±0,23) 2,5%	0,836 (±0,36) 4,3%	3,57(±0,18) 5,2%
T4	0,930 (±0,12) 1,3%	0,812 (±0,49) 6,0%	3,68(±0,25) 7,0%

Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão das amostras e os valores em negrito ao coeficiente de variação (%).

Após a aplicação dos tratamentos térmicos, observou-se também uma redução consistente da densidade aparente, proporcional ao aumento da temperatura, de 0,55 g cm⁻³ para T1, 0,65 g cm⁻³ para T2, 0,81 g cm⁻³ para T3 e 118 g cm⁻³ para T4 (Tabela 1). Essa diminuição é esperada, visto que a perda de massa, sem alterações significativas no volume dos corpos de prova, resulta em menor massa por unidade de volume. Além da volatilização de hemiceluloses, a degradação parcial de lignina e celulose em temperaturas mais elevadas pode contribuir para essa redução de densidade (GONZÁLEZ-PEÑA, CURLING, HALE, 2009). Isso afeta a integridade estrutural da parede celular da madeira e pode acarretar em colapsos microscópicos que, ainda que não visíveis macroscopicamente, alteram a densidade final do material.

Do ponto de vista tecnológico, a redução da densidade pode ter efeitos ambivalentes: por um lado, pode comprometer propriedades mecânicas como dureza, resistência à flexão e compressão. Por outro, pode beneficiar características como isolamento térmico, maior facilidade de usinagem e, sobretudo, a resistência ao ataque de organismos xilófagos, já que a redução da higroscopicidade e do teor de nutrientes disponíveis torna o ambiente menos favorável à colonização biológica (BOONSTRA, TJEERDSMA, 2006).

4. CONCLUSÃO

O tratamento térmico da madeira de tuturubá em diferentes temperaturas e tempos alterou a densidade e perda da madeira. A perda de massa e a redução da densidade aparente com o aumento da temperatura são indicativos de transformações químicas relevantes na estrutura da madeira. Tais alterações, quando bem controladas, podem agregar valor às espécies menos nobres, ampliando seu uso em ambientes internos ou com baixa exigência estrutural, mas alta necessidade de estabilidade dimensional e durabilidade natural. Análises das contrações lineares e volumétricas, além da

caracterização química e mecânicas da madeira estão em andamento para corroborar com os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. 1997.

ANJOS, Fábio Pereira dos. **Efeitos da termorreificação nas propriedades físicas de três espécies madeireiras da Amazônia**. Orientador: Adriano Marlisom Leão de Souza. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

BOONSTRA, M., TJEERDSMA, B. **Chemical analysis of heat-treated softwoods**. *Holzforschung*, v. 60, n. 2, p. 176–182, 2006.

CADEMARTORI, P.H.; FRANÇA, R.F.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W.L.; MUÑIZ, G.I.. **Caracterização anatômica da madeira de *Lecythis pisonis* CAMB**. I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira (CBCM) III Simpósio de Ciência e Tecnologia do Estado do RJ (SIMADERJ). Petrópolis, RJ. 2013.

CRUZ, E. **Germinação de sementes de espécies amazônicas: abiu-ucuubarana (*Pouteria oblancheolata* Pires)**, <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1136573&biblioteca=vazio&busca=1136573&qFacets=1136573&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>, acessado em maio de 2025.

ESTEVES, B., PEREIRA, H. **Wood modification by heat treatment: A review**. *BioResources*, v. 4, n. 1, p. 370–404, 2009.

GONZÁLEZ-PEÑA, M. M. CURLING, S. F. HALE, M. D. C. **On the effect of heat on the chemical composition and dimensions of thermally-modified wood**. *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, n.12, p. 2184-2193, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.09.003>.

LEITE, A. S., DO NASCIMENTO, C. S., DE ALMEIDA CRUZ, I., DE OLIVEIRA, M. S., DE ARAÚJO, R. D., DO NASCIMENTO, C. C., & HIGUCHI, N. **Impact of thermal treatment on the properties of assacú (*Hura crepitans* L.) and murici (*Byrsonima crissa* A.Juss.) Amazon woods**. *New Zealand Journal of Forestry Science*, v. 54, 2024. <https://doi.org/10.33494/nzjfs542024x256x>

SILVA, M.R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalypto citriodora* e *Pinus Taeda***. 223p. Tese (Doutorado em Ciências. Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. 2012.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA, <https://alabie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/306836>, acessado em setembro de 2025.

TAKESHITA, S. **Redução na higroscopicidade e na movimentação dimensional da madeira de folhosas submetida a tratamentos térmicos**. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado em recursos florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo. 2011. 106p.

XAVIER, G. **Influência de tratamentos térmicos em duas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus sp.* e *Eucalyptus urograndis*.** Universidade de Brasília. 2013.

PROGRAMA DE SECAGEM CONVENCIONAL APLICADO A MADEIRA DE SERINGUEIRA

Rebeca Rodrigues de Souza Alves; João Vicente de Figueiredo Latorraca; Alexandre Monteiro de Carvalho; Josie
Tatiane Santos de Almeida Gondim Monteiro;

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

rebecarodrigues@ufrj.br

Resumo: Este trabalho teve como objetivo elaborar e avaliar um programa de secagem convencional para minimizar defeitos na madeira de dois clones de *Hevea brasiliensis* - Seringueira, considerando três classes de diâmetro. A pesquisa foi conduzida no Núcleo de Pesquisas em Qualidade de Árvores e Madeira do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O programa de secagem foi aplicado com sucesso a dois tipos de clones, permitindo avaliar seu desempenho em diferentes condições, como variações de densidade, estrutura anatômica e comportamento higroscópico. Os resultados demonstraram que o mesmo programa apresentou eficácia para ambos os clones, indicando que é possível padronizar o processo de secagem com segurança e confiabilidade. Assim, conclui-se que o mesmo programa pode ser utilizado para os dois clones sem comprometer a qualidade final da madeira, o que contribui significativamente para a otimização do processo industrial, redução de custos operacionais e aumento da eficiência produtiva.

Palavras chave: Secagem; Seringueira; Qualidade da Madeira.

CONVENTIONAL DRYING PROGRAM APPLIED TO RUBBER WOOD

Abstract: This study aimed to develop and evaluate a conventional drying program to minimize defects in the wood of two *Hevea brasiliensis* - Seringueira clones, considering three diameter classes. The research was conducted at the Research Center for Tree and Wood Quality of the Forest Institute at the Federal Rural University of Rio de Janeiro. The drying program was successfully applied to two types of clones, allowing for the evaluation of its performance under different conditions, such as variations in density, anatomical structure, and hygroscopic behavior. The results showed that the same program was effective for both clones, indicating that the drying process can be standardized with safety and reliability. Therefore, it is concluded that the same program can be used for both clones without compromising the final wood quality, which significantly contributes to the optimization of the industrial process, reduction of operational costs, and increased production efficiency.

Keywords: Drying; Rubber Tree; Wood Quality.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo caminha em direção à sustentabilidade em diversos setores industriais, buscando minimizar os impactos provocados pelo avanço exacerbado das mudanças climáticas. Nesse contexto, a silvicultura com espécies nativas tem se destacado como uma estratégia relevante, não apenas para a produção de madeira, mas também para a prestação de diversos serviços ambientais, como o sequestro de carbono atmosférico, a conservação do solo e da água, a manutenção da biodiversidade e a recuperação de áreas degradadas (LAMB, 2014).

Diante da importância do tema, esta pesquisa apresenta avaliações relacionadas à qualidade da madeira proveniente de espécies nativas utilizadas em plantios florestais. Entre essas espécies, destaca-se a *Hevea brasiliensis*, pertencente à família Euphorbiaceae e popularmente conhecida como Seringueira. Nativa da bacia hidrográfica da Amazônia, a Seringueira desempenhou papel econômico fundamental para o Brasil, especialmente por meio da extração do látex para a produção de borracha.

A Seringueira produz látex por um período aproximado de 30 a 35 anos ao longo de seu ciclo de vida. Após o término desse período produtivo, a madeira da Seringueira pode ser aproveitada tanto na indústria madeireira quanto na matriz de produção energética. Embora, do ponto de vista da resistência ao ataque de fungos e insetos, a madeira da Seringueira seja considerada não durável em seu estado natural, demandando tratamento preservativo, suas características físicas — como textura uniforme, coloração atrativa e facilidade de trabalho, conferem-lhe um grande potencial de utilização. A madeira da Seringueira é amplamente empregada na fabricação de produtos como compensados, aglomerados, MDF (Medium Density Fiberboard) e também como madeira sólida para a produção de móveis (RATINASIGAN; IORAS; WENMING, 2011).

Um aspecto fundamental para a valorização da madeira é o processo de secagem. Um programa de secagem consiste em um plano pré-estabelecido que define as alterações apropriadas de temperatura e umidade relativa do ar, as quais devem ser aplicadas à carga de madeira na estufa ao longo do processo. Quando adequadamente desenvolvido e executado, esse programa permite alcançar o teor de umidade desejado, minimizando a ocorrência de defeitos e reduzindo o tempo de processamento, o que assegura qualidade e eficiência econômica (MARQUES; MARTINS, 2002).

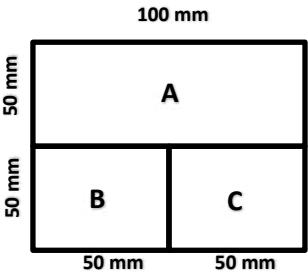
Diante desse panorama, o objetivo desta pesquisa foi elaborar e avaliar um programa de secagem convencional eficaz para a madeira de Seringueira, visando otimizar seu aproveitamento industrial e contribuir para práticas mais sustentáveis no setor florestal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para elaborar um programa de secagem específico para a madeira de seringueira, foi adotada a metodologia de secagem drástica, sugerida por Jankowsky (2009). Esse método constitui-se numa ferramenta eficaz para a determinação de parâmetros essenciais à elaboração de programas de secagem e se fundamenta na teoria de que amostras de pequenas dimensões, quando submetidas a uma secagem em altas temperaturas (100°C), apresentam um comportamento que é proporcional ao observado no processo de secagem convencional.

Um total de 60 corpos de prova para cada tratamento foram produzidos, sendo que 20 foram destinados ao ensaio de secagem drástica (dimensões 100 × 50 × 10 mm), 20 à determinação da densidade básica (dimensões 50 × 50 × 10 mm) e 20 à determinação do teor de umidade (dimensões 50 × 50 × 10 mm), conforme ilustrado na Figura 1. A fim de prevenir a perda de umidade, os corpos de prova destinados aos ensaios de secagem drástica, densidade e umidade, devidamente identificados, foram mantidos submersos em água até o início dos respectivos testes.

Figura 2: Esquema do corte dos corpos de prova para o ensaio de secagem drástica. **A** – Corpo de prova para a secagem drástica em estufa a 100°C (100x50x10mm); **B** – Corpo de prova para a determinação da densidade básica (50x50x10mm); **C** – Corpo de prova para determinação da umidade inicial (50x50x10mm).



Para a determinação da umidade da madeira, foi aplicado o método gravimétrico de acordo com a Norma NBR 7190 (ABNT, 1997). As amostras úmidas foram submetidas a secagem em estufa a $(100 \pm 3)^\circ\text{C}$ até massa constante, posteriormente foi realizado o cálculo da umidade conforme a equação 5.

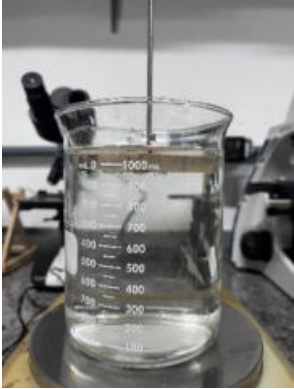
$$TU = (Mu - Ms) / Ms \times 100$$

Equação 1

Onde:
 TU = Teor de umidade (%); Mu = Massa úmida (g); Ms = Massa seca (g).

A determinação da densidade básica, foi realizada pelo método de imersão conforme a norma NBR 11.941 (ABNT, 2003). Cada corpo de prova foi imerso em água, contido em um becker sobre a balança digital para obtenção do volume verde (Figura 2). Posteriormente as amostras foram secas em estufa $(100 \pm 3)^\circ\text{C}$, até a massa constante.

Figura 3: Corpo de prova imerso em água para a obtenção do volume verde.



De acordo com a metodologia da secagem drástica, proposto por Jankowsky (2009), foram determinados três parâmetros essenciais para a elaboração de um programa de secagem, quais sejam: temperatura inicial ($T.i$), temperatura final ($T.f$) e potencial de secagem ($P.S$). As variáveis analisadas durante o ensaio compreenderam: tempo de secagem, velocidade de secagem (taxa de secagem), ocorrência de rachaduras no topo e índice de colapso. As características da madeira bem como os defeitos avaliados neste ensaio estão relacionadas na tabela 1.

Tabela 2: Variáveis do ensaio obtidas no ensaio de secagem drástica

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	FAIXA DE UMIDADE	UNIDADE
T1	Tempo de Secagem	Ui a 5%	Hora
T2	Tempo de Secagem	Ui a 30%	Hora
T3	Tempo de Secagem	30 a 5%	Hora

V1	Velocidade de Secagem	Ui a 5%	g/cm ² .hora
V2	Velocidade de Secagem	Ui a 30%	g/cm ² .hora
V3	Velocidade de Secagem	30 a 5%	g/cm ² .hora
R1	Rachadura de Topo	Ui a 5%	Escore
R2	Rachadura de Topo	Ui a 30%	Escore
R3	Rachadura de Topo	30 a 5%	Escore

Para o cálculo das velocidades de secagem foram usadas as seguintes equações:

a) Velocidade de secagem até 5% de umidade:

V₁; Onde: V₁ = Velocidade de secagem até 5% de umidade (g/cm².hora); Mv = Massa da amostra úmida (umidade inicial) (g); M5 = Massa da amostra a 5% de umidade (g); T1 = Tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h); 100 = Área superficial da amostra (cm²).

$$V_1 = \frac{MV - M5}{T1 \times 100} \quad \text{Equação 2}$$

b) Velocidade de secagem até 30% de umidade:

V₂; Onde: V₂ = Velocidade de secagem até 30% de umidade (g/cm².hora); Mv = Massa da amostra úmida (umidade inicial) (g); M30 = Massa da amostra a 30% de umidade (g); T2 = Tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h); 100 = Área superficial da amostra (cm²).

$$V_2 = \frac{MV - M30}{T2 \times 100} \quad \text{Equação 3}$$

c) Velocidade de secagem de 30-5% de umidade:

V₃; Onde: V₃ = Velocidade de secagem de 30-5% de umidade (g/cm².hora); M30 = Massa da amostra a 30% de umidade (g); M5 = Massa da amostra a 5% de umidade (g); T3 = Tempo de secagem de 30-5% (h); 100 = Área superficial da amostra (cm²).

$$V_3 = \frac{M30 - M5}{T3 \times 100} \quad \text{Equação 4}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia empregada (Secagem Drástica) determinou-se as variáveis utilizadas para elaboração do programa, que estão apresentadas na tabela 3. Nota-se que, em função dos tratamentos utilizados neste estudo, a temperatura inicial variou de 53,1 °C a 64,6 °C para os tratamentos Clone 2 – CD Média e Clone 1 - CD Superior, respectivamente. Para temperatura final a variação ocorreu entre o tratamento Clone 2 CD Médio (78,9 °C) e Clone 1 – CD Superior (93,3 °C). De uma forma geral os Potenciais de Secagem encontrados, forma de médio a alto, variando entre 2,84 a 3,74, indicando que madeira apresenta uma estabilidade dimensional razoável.

Tabela 2: Variáveis do Programa de Secagem da espécie *Hevea brasiliensis*

TRATAMENTO		VARIÁVEIS DO PROGRAMA DE SECAGEM		
CLONE	CLASSE	Temp Inicial (°C)	Temp Final (°C)	Potencial de secagem (PS)
1	Inferior	61,09	84,49	3,56
	Médio	54,08	80,22	2,97
	Superior	64,58	93,35	3,74
	Mínimo	54,08	80,22	2,97

	Média	59,92	86,02	3,42
	Máximo	64,58	93,35	3,74
	Inferior	54,53	80,29	2,99
	Médio	53,06	78,94	2,84
2	Superior	54,62	79,84	3,00
	Mínimo	53,06	78,94	2,84
	Média	54,07	79,69	2,94
	Máximo	54,62	80,29	3,00
	Mínimo	53,06	78,94	2,84
MÉDIA	Média	56,99	82,85	3,18
	Máximo	64,58	93,35	3,74

CD = Classe Diamétrica

Com os resultados encontrados de Temperatura Inicial e Final e Potencial de Secagem seria possível elaborar diferentes programas de secagem, dada as variações encontradas nessas variáveis. Apesar disso, nota-se que seria possível utilizar um único programa de secagem aplicado simultaneamente a madeiras dos dois clones. Isso porque, as diferenças encontradas não foram acentuadas, de modo que justifique secar as madeiras dos clones separadamente.

4. CONCLUSÃO

O programa de secagem foi aplicado com sucesso a dois tipos de clones, permitindo avaliar seu desempenho em diferentes condições. Os resultados demonstraram que o mesmo programa apresentou eficácia para ambos os clones, indicando que é possível padronizar o processo de secagem. Assim, conclui-se que o mesmo programa pode ser utilizado para os dois clones sem comprometer a qualidade final, o que contribui para a otimização do processo industrial.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Ariel de. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras.**

2000. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. Doi:

10.11606/D.11.2019.tde-20191218-173153. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11149/tde-20191218-173153/pt-br.php>. Acessado em: Fev. 2025.

BRANDÃO, Alcir Tadeu de Oliveira, JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras. 113 f. 1989. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, 1989. Disponível em:

<https://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/350>. Acessado em: Fev. 2025.

CINIGLIO, Gianpaola.; JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA DE E. grandis E E. urophylla. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Bibliografia. PIRACICABA, São Paulo. 73f. 1998. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11149/tde-20191218-140202/publico/CiniglioGianpaola.pdf>. Acessado em: Fev. 2025.

MARTINS, Varlone Alves.; MARQUESII, Márcia Helena Bezerra.; GOUVEIA, Fernando Nunes. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1469-1477, jul./set. 2019 ISSN 1980-5098 DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509825221>. Acessado em: Fev. 2025.

AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM MULTIESPÉCIES DA AMAZÔNIA COMO POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE CORANTES NATURAIS

Renata Alice Ribeiro do Carmo¹; Jhêmilly da Silva dos Santos¹, Maria Naruna Felix de Almeida^{1*}

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade do Estado do Pará, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): narunafelix@gmail.com*

Resumo: Este estudo investigou o potencial de reaproveitamento de resíduos por meio da extração de compostos químicos denominados extrativos, com foco na produção de corantes naturais para tecidos. Foram coletadas amostras de serragem multiespécies de quatro serrarias locais (SM1, SM2, SM3 e SM4). As amostras passaram por dois métodos de extração: Soxhlet (com etanol) e banho-maria (com água destilada). Após a extração, os extratos foram aplicados em tecidos 100% algodão, previamente tratados com mordente. A coloração dos tecidos foi avaliada quanto à intensidade e fixação do corante. Os resultados mostraram variação nos teores de extrativos conforme o solvente e a serraria de origem. O teor de extrativos variou entre 2,40-7,50% para a solução alcoólica e 2,83-10,60% para a solução aquosa. Diferente do esperado, soluções com maior concentração de extrativos resultaram em colorações menos intensas, o que indica que o tingimento pode ser afetado também pela polaridade do solvente e do tipo de extrativo, sugerindo a necessidade de análises qualitativas dos extratos e novos testes de fixação da cor e sua relação com a concentração do extrato.

Palavras-chave: Extrativos; Resíduos madeireiros; Indústria verde.

EVALUATION OF MULTI-SPECIES WASTE FROM THE AMAZON AS A POTENTIAL FOR PRODUCTION OF NATURAL DYES

This study investigated the potential for reusing wood residues through the extraction of chemical compounds known as extractives, focusing on the production of natural dyes for fabrics. Samples of multi-species sawdust were collected from four local sawmills (SM1, SM2, SM3, and SM4). The samples underwent two extraction methods: Soxhlet (with ethanol) and water bath (with distilled water). After extraction, the extracts were applied to 100% cotton fabrics, previously treated with mordant. The fabrics were evaluated for color intensity and dye fixation. The results showed variation in the extractive content depending on the solvent and the origin of the sawmill. The extractive content ranged from 2.40–7.50% for the ethanol solution and 2.83–10.60% for the aqueous solution. Contrary to expectations, solutions with higher extractive concentrations resulted in less intense coloration, indicating that dyeing may also be influenced by the solvent polarity and the type of extractive. This suggests the need for qualitative analysis of the extracts and further testing of color fixation and its relationship with extract concentration.

Keywords: Extractives; Wood residues; Green industry.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira, reconhecida por sua vasta biodiversidade e riqueza natural, desempenha um papel fundamental no setor madeireiro nacional (PIPONIOT, 2019). O município de Paragominas, localizado no estado do Pará, destaca-se como um dos maiores polos produtores de madeira do Brasil. A exploração madeireira na região envolve uma grande variedade de espécies de alto valor comercial, como o mogno (*Swietenia macrophylla*), a teca (*Tectona grandis*), a

maçaranduba (*Manilkara* spp.), o amarelão (*Aspidosperma* spp.) e o paricá (*Schizolobium amazonicum*), entre outras. Essas espécies são amplamente utilizadas na fabricação de móveis, construção civil e na produção de painéis de MDF (CONCEIÇÃO, 2020).

A indústria madeireira da Amazônia gera volumes expressivos de resíduos: 0,3 m³ por m³ extraído no manejo florestal e 0,6 m³ por m³ de toras serradas no beneficiamento. No Pará, com 3,1 milhões de m³ de toras processadas anualmente, cerca de 3 milhões de m³ de resíduos são produzidos, podendo causar impactos socioambientais como poluição do ar e contaminação hídrica, se não manejados adequadamente (NICARETTA et al., 2023).

Um dos destinos convencionais para os resíduos é a geração de energia em caldeiras, utilizando parte do material em estufas para secagem da madeira serrada e o excedente para suprir a operação da serraria ou ser comercializado na rede de distribuição. No entanto, a “combustão inadequada” gera riscos à qualidade do ar, emissões de gases de efeito estufa e perigo de incêndios, sugerindo impactos ambientais negativos em vez de benefícios energéticos (SILVA, 2023).

A caracterização química é essencial para entender não apenas as propriedades físicas e mecânicas do material, mas também seu potencial de uso industrial e sua durabilidade (ANDRADE, 2020). A madeira tropical é rica em extrativos, que desempenham um papel crucial na resistência ao ataque de organismos xilófagos e na estabilidade dimensional do material. Além disso, os extrativos possuem uma gama de compostos químicos, como fenóis, terpenos e taninos, que podem ser aproveitados em diversas indústrias, agregando valor econômico à madeira. Esses compostos podem ser aplicados em diversos setores, como têxtil, alimentício, cosmético e farmacêutico, proporcionando benefícios econômicos e ambientais significativos (SANTIAGO, 2020). Em espécies amazônicas, fornecem corantes naturais com flavonoides (NICARETTA et al., 2023).

A exploração dessas substâncias pode impulsionar inovações ecológicas, contribuindo para práticas mais conscientes e sustentáveis. Pesquisas recentes demonstram a eficiência desses elementos em diferentes matrizes, destacando sua durabilidade e impacto positivo no meio ambiente (DATTA et al., 2022, NICARETTA et al., 2023). Assim, este trabalho teve por objetivo quantificar extrativos presentes nas amostras de serragem multiespécies nos resíduos de 4 serrarias locais, e testar a aplicação desses extratos na coloração de tecidos naturais (100% algodão).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e Preparação das Amostras

As amostras de serragem de madeira foram obtidas por doação de quatro serrarias localizadas no município de Paragominas, no estado do Pará. As amostras consistiam em um grupo denominado serragem multiespécies, pois abrangiam diferentes espécies da região, conforme a disponibilidade e a demanda de produção de cada estabelecimento. As amostras foram identificadas e armazenadas em bandejas em local arejado para aclimação, até atingirem o teor de umidade de equilíbrio. Posteriormente, as amostras foram peneiradas, utilizando a fração retida entre as peneiras de 40 e 60 mesh para as análises.

2.2. Quantificação dos extrativos nos resíduos de serragem multiespécies

O teor de umidade foi medido de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2003), pela diferença de massa das amostras antes e depois da secagem em estufa a 103±2°C até massa constante.

As quatro composições de serragem multiespécies (SM) coletadas nas diferentes serrarias foram identificadas como SM1, SM2, SM3 e SM4. Dois métodos de extração foram empregados: Soxhlet e banho-maria.

No método Soxhlet, 2 g amostras foram submetidas à extração com álcool etílico por 4 horas, conforme o método TAPPI 204 cm-97 (TAPPI, 1997a). No método de banho-maria, as amostras ficaram em contato direto com o solvente (água destilada) por 1 hora, à temperatura controlada de 100°C. Após cada etapa de extração, os extratos foram concentrados, e o teor de extrativos totais foi calculado com base na diferença entre massa seca e massa úmida das amostras.

2.3. Tingimento de tecidos

Foi adaptada a metodologia de Alcantara (2023), utilizaram-se tecidos compostos por 100% algodão, com aproximadamente 0,7 g de massa (em triplicata). Os tecidos na dimensão de 5 x 10 cm foram previamente lavados em solução mordente (Alúmen de potássio), na proporção de 15% do peso do tecido. As amostras de tecido foram mergulhadas na solução à 60°C por 1 hora. Após o processo, foram enxaguadas levemente com água fria para remover o excesso de mordente, e os tecidos seguiram para o processo de tingimento.

Para prepara da solução corante utilizando os extrativos obtidos em água, o extrato da triplicata de cada SM foi reunido em um balão de 500 mL, e aferido com água destilada. Já para solução corante utilizando os extrativos obtidos em álcool, como o extrato da triplicata de cada SM estava concentrado, o mesmo foi solubilizado em 25 mL de álcool e reunido com água destilada em um balão de 500 mL.

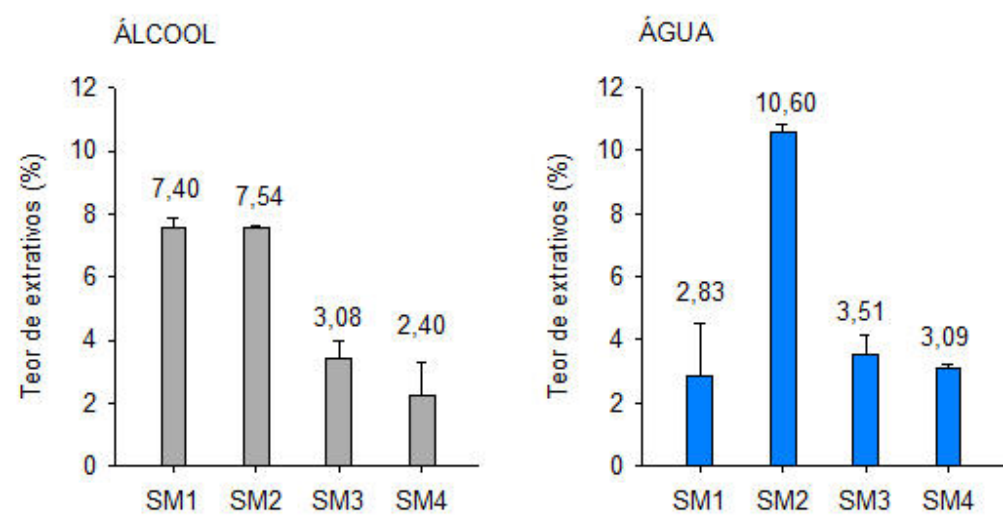
Para o tingimento, transferiram-se 150 ml do extrato para cada béquer, nos quais foi imerso um pedaço de tecido. Após esse preparo inicial, os béqueres foram colocados em banho-maria: inicialmente por 20 minutos a 40 °C, com agitação a cada 10 minutos. Em seguida, a temperatura foi elevada para 80 °C, mantendo-se por 1 hora. Finalizada essa etapa, os tecidos foram levados à estufa a 50 °C por 24 horas. Após o período de secagem, foram lavados em água corrente para remoção do excesso de corante. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, considerando valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao teor de umidade, as serragens apresentaram resultados de 13,75% para SM1, 14,03% para SM2, 13,23% para SM3 e 11,13% para SM4. Esses valores podem ser atribuídos ao período chuvoso na região, que aumenta a umidade relativa do ar e favorece a absorção de água pelos resíduos florestais durante o armazenamento. Esses valores são importantes pois podem influenciar na quantidade de resíduo necessário para extração do composto, sendo que quanto maior o teor de umidade, maior o volume de serragem necessário para se obter a mesma quantidade de extrato.

O teor de extrativos em álcool e água quente nas amostras de serragem multiespécies (Figura 1). As serragens SM1 e SM2, obtidas em duas serrarias da região apresentaram o dobro de extrativos em álcool do que as serrarias SM3 e SM4, o que indica maior potencial para a extração de corantes naturais nesses resíduos. Devido a origem desconhecida das espécies que continham nessa serragem não é possível determinar se uma espécie específica foi responsável pela diferença de valor entre as outras espécies. Além disso, como a sazonalidade do resíduo não é fixa mesmo dentro de uma mesma serraria, essas flutuações serão comuns e devem ser consideradas ao industrializar o uso desses resíduos na obtenção desses compostos.

Figura 1: Teor de extrativos em álcool e água quente nas amostras de serragem multiespécies.



Além de valores elevados do teor de extrativos, observando a coloração dos extratos (Figura 2), visivelmente a amostra SM2 apresentou uma cor mais escura, assim como observado na serragem da madeira antes de passar pelo processo de extração. Desse modo, espera-se que serragens de espécies mais escuras forneçam uma maior quantidade de compostos com potencial uso para corantes.

As diferenças nas concentrações das soluções corantes alcoólicas e aquosas (Tabela 1), podem influenciar significativamente o desempenho dos corantes naturais no tingimento de tecidos. Extrativos com maior concentração tendem a oferecer maior intensidade de cor, melhor cobertura e maior fixação nos substratos têxteis.

Figura 2. Coloração dos extrativos de obtidos em água nas amostras de serragem multiespécies.

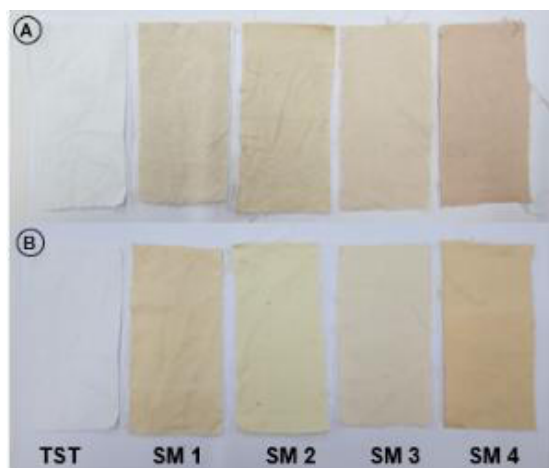


Tabela 1: Concentração dos extratos para tingimento (mg.L⁻¹)

Serragens multiespécies	Extrato alcoólico	Extrato aquoso
SM1	0,769	0,354
SM2	0,783	1,093
SM3	0,320	0,328
SM4	0,264	0,301

No entanto, a amostra SM2, apesar de apresentar maior concentração não apresentou uma diferença marcante na intensidade da cor, quando comparado às outras soluções (Figura 3). Além disso, a concentração da solução SM4, apesar de uma das menores, apresentou maior intensidade de tingimento. Essas diferenças podem estar associadas ao tipo de extrativo obtido pelas combinações de espécies nos dois solventes (DATTA et al., 2022), portanto a análise qualitativa do extrato é fundamental para analisar a retenção e solidez da cor.

Figura 3: Tingimento de tecidos 100% com extratos obtidos por serragem multiespécie de madeira. A) Tecido tingido com extrato aquoso após a lavagem. B) Tecido tingido com extrato alcoólico após a lavagem.



4. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram o potencial dos extrativos de madeira na produção de corantes naturais, com a qualidade do tingimento influenciada por fatores como o tipo de solvente. Mesmo com o uso de solventes menos tóxicos e mais econômicos, como água e álcool, os tecidos apresentaram coloração e resistência à lavagem. A intensidade da cor não se relacionou diretamente à concentração dos extratos, sendo também afetada pela polaridade do solvente. Pesquisas futuras devem aprofundar na caracterização química dos compostos e a fixação da cor, além de explorar aplicações em moda sustentável, artesanato e produtos ecológicos.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, W. P. B., et al. **Estudo da aplicação do extrato do rizoma do açafrão-da-terra (*cúrcuma longa* L.) como corante natural em tecidos de algodão e poliéster.** 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em química) - ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2023.

ANDRADE, M.D.P.; ORNAGHI, H.L., JR.; MONTICELI, F.M.; POLETO, M.; ZATTERA, A.J. A Survey on the Effect of the Chemical Composition on the Thermal, Physical, Mechanical, and **Multitemas**, Campo Grande, MS, v. 25, n. 59, p. 113-126, jan./abr 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14929:** Determinação do teor de umidade da madeira. Rio de Janeiro. 2003.

CONCEIÇÃO, A. K. C.; LIRA, A. G. S.; SOUSA, L. M. R.; MAESTRI, M. P.; AQUINO, M. G. C. Exploração e valoração em tora de 10 espécies florestais no baixo amazonas, estado do Pará, entre 2006 e 2016. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v.17 n.31; p. 80, Jandaia – GO, 2020.

DATTA, M. K. et al. The sustainable coloration of wool fabric using naturally extracted dyes from sappan heartwood. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 14, p. 9348–9362, 2022. DOI: 10.1080/15440478.2021.1982825.

NICARETTA, B. C. et al. Facial Biocosmetics Based on Natural Dyes from Amazon Wood Residues. **Journal of Sustainable Forestry**, Santarém, v. 42, n. 9, p. 910-921, set. 2023. doi:10.1080/10549811.2022.2123821.

PIPONIOT, C. et al. Can timber provision from Amazonian production forests be sustainable. **Environ. Res. Lett.**, 14: 064014. 2019. Doi: 10.1088/1748-9326/ab195e.

SANTIAGO. **Estudo dos metabólitos secundários e atividade antifúngica em resíduos madeireiros de *Hymenaea courbaril* L.** 2020. 132 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

SILVA, Ana Paula de Souza. **Potencial do uso da biomassa florestal para geração de energia: estudo de caso de uma serraria no Estado do Pará.** 2023. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

TAPPI – **Technical Association of the Pulp and Paper Industry.** T 264 cm-97: preparation of wood for chemical analysis. 1997b, 4p.

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DA MADEIRA DE ESPÉCIE DE VÁRZEA DO MEDIOS SOLIMÕES

Ariane Mateus de Souza^{1*}; Washington Duarte Silva da Silva³; Camila Juliana Sampaio Pereira¹; Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho¹; João Gilberto Meza Ucella Filho¹; Angelica de Cassia Oliveira Carneiro¹; Pamella Carolline Marques dos Reis Reis²; Leonardo Pequeno Reis²

¹ Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil.

³ Universidade Federal do Paraná, Brasil

*Autor correspondente: ariane.mateus.7@gmail.com

Resumo: A Amazônia é considerada uma área com alta diversidade de espécies madeireiras. As florestas de várzeas são reconhecidas por apresentarem baixa diversidade de espécies, quando comparada com as florestas de terra firme. A fim de ampliar o conhecimento sobre as madeiras de espécies ocorrentes em florestas de várzea, esse trabalho teve como objetivo caracterizar macroscopicamente as madeiras das espécies *Guarea guidonia* e *Couroupita subsessilis*, que são indivíduos oriundos de áreas alagadas. As amostras de madeiras foram coletadas nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) e Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA), com a utilização de trado de incremento. A caracterização anatômica macroscópica e organoléptica foi realizada de acordo com a norma do IBAMA (1992). A espécie *Guarea guidonia* apresentou madeira com cerne e alburno indistintos pela cor, brilho moderado, cheiro imperceptível e consistência rígida ao corte. Do ponto de vista anatômico, destacou-se por apresentar poros visíveis a olho nu com porosidade difusa não uniforme, parênquima axial paratraqueal do tipo aliforme losangular, linear, confluyente, além de raios visíveis. Já *Couroupita subsessilis* apresentou madeira com cerne e alburno indistintos pela cor, porém com brilho e cheiro perceptível e agradável, sendo macia ao corte, suas propriedades anatômicas apresentou parênquima axial apotraqueal reticulado, poros visíveis a olho nu, vasos solitários agrupados e camadas de crescimento pouco distintas, com raios visíveis apenas com auxílio de lupa de 10x. Conclui-se que as características organolépticas e macroscópicas facilitam na identificação correta das espécies.

Palavras chave: Identificação da madeira; Meliaceae; Lecythidaceae.

MACROSCOPIC CHARACTERIZATION OF WOOD FROM SPECIES FROM THE MEDIUM SOLIMÕES FLOODPLANE

Abstract: The Amazon is considered a region with high diversity of timber species. Floodplain forests are recognized for having lower species diversity when compared to upland (terra firme) forests. In order to expand the knowledge about the wood of species occurring in floodplain forests, this study aimed to macroscopically characterize the wood of *Guarea guidonia* (L.) Sleumer and *Couroupita subsessilis* Pilg, which are individuals from flooded areas. Wood samples were collected from the Mamirauá Sustainable Development Reserve (RDSM) and the Amanã Sustainable Development Reserve (RDSA), using an increment borer. The macroscopic anatomical and organoleptic characterization was carried out according to IBAMA standards (1992). The species *Guarea guidonia* showed wood with no distinct heartwood and sapwood coloration, moderate luster, imperceptible odor, and rigid consistency when manually cut. Anatomically, it was characterized by visible pores with diffuse, non-uniform porosity, paratracheal axial parenchyma of the aliform, lozenge, linear, confluent types, and visible rays. *Couroupita subsessilis*, on the other hand, presented wood with no color distinction between heartwood and sapwood, but with noticeable luster and a pleasant odor, being soft when cut. Its anatomical properties included apotracheal reticulate axial parenchyma, pores visible to the naked eye, grouped solitary vessels, and slightly distinct growth rings, with rays visible only

under 10x magnification. It is concluded that organoleptic and macroscopic characteristics assist in the correct identification of these species.

Keywords: Wood identification; Meliaceae; Lecythidaceae.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas que desempenham funções vitais como a condução de líquidos; transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal; que apesar de parecer um corpo maciço apresenta um material bastante heterogêneo e anisotrópico. Em razão dessas características, o estudo macroscópico da madeira torna-se necessário para sua descrição e identificação (BURGER *et al.*, 1991).

A Amazônia é um território vasto que abriga uma alta diversidade de fauna e flora, sendo uma das maiores reservas de madeira tropical do mundo, levando em consideração sua extensão, quantidade, variedade e importância econômica de espécies (OLIVEIRA, 2005).

As características anatômicas da madeira possuem influência ambiental e genética, e a combinação específica dessas características possibilitam a distinção de grupos taxonômicos (UNODC, 2016). Nesse sentido, a anatomia da madeira se faz importante pois proporciona informações que auxiliam na identificação de espécies, evitando que espécies possam ser confundidas e exploradas de forma ilegal, além de contribuir no controle do manejo florestal, diminuindo prejuízos econômicos e proporcionando a manutenção da biodiversidade (ALVES, 2013).

A análise dos caracteres macroscópicos da madeira é realizada de forma simples, podendo ser verificada a olho nu ou com auxílio de lupa de dez vezes de aumento, pode ser realizada em campo, e não requer muitos instrumentos ou técnicas específicas. Por meio desse procedimento, é possível a identificação de grande parte das madeiras comerciais conhecidas (OLIVEIRA, 2005).

A espécie *Guarea guidania* pertence à família Meliaceae e é conhecida popularmente como peloteira, carrapeta, marinheiro. Já a espécie *Couropita subsessilis*, pertence à família Lecythidaceae e é conhecida popularmente castanha-de-macaco, cueira-brava, amêndoa-dos-andes. As duas espécies ocorrem naturalmente em áreas alagadas da região Amazônica. Dessa forma, objetivou-se nesse trabalho determinar as características anatômicas macroscópicas das espécies, *Guarea guidania* (L.) Sleumer e *Couropita subsessilis* Pilg.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta das amostras

As amostras das espécies, *Guarea* e *Couropita* foram coletadas na região do médio Solimões, especificamente nas proximidades da cidade de Tefé-AM. A área de estudo está situada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA). Os filetes de madeira foram retirados por um método invasivo não destrutivo (MND), com utilização de um trato incremental de 300 mm e 3 roscas. Após a coleta, as madeiras foram acondicionadas em recipientes de PVC e levadas para o laboratório. Para todos os indivíduos, também foram coletadas amostras botânicas para posterior identificação no Herbário do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM-Tefé-AM).

2.2 Caracterização anatômica macroscópica

A caracterização anatômica macroscópica e organoléptica foi realizada de acordo com a norma do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA, 1991). As atividades foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira (LANTOM) da Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capitão Poço. As análises ocorreram com o auxílio de algumas ferramentas: sequência de lixas com granulometria crescente para o polimento, um bisturi e uma lupa conta-fios com aumento de 10 vezes. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar livre por 24h, e em seguida, em estufa a 40°C por aproximadamente 24 horas, para impedir o envergonhamento da amostra. Depois de secas, as amostras foram polidas com lixas de granulometria 120, 180, 220 e 320 para facilitar a visualização dos elementos anatômicos da madeira, e com um auxílio da lupa-conta fios, as amostras foram analisadas e descritas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades organolépticas

A madeira da espécie *Guarea guidania*, apresentou cerne e alburno indistinto pela cor, brilho moderado, cheiro imperceptível, rígida quanto ao corte manual. A madeira da espécie *Couropita subsessilis* apresentou cerne e alburno indistinto pela cor, com presença de brilho, cheiro perceptível agradável, macia ao corte manual.

3.2 Descrição macroscópica

Guarea guidania apresentou Parênquima axial paratraqueal, do tipo aliforme losangular, linear, confluyente. visível somente sob lente com aumento de 10 vezes, raios visíveis a olho nu principalmente nos planos transversal e tangencial. Apresentou também poros visíveis a olho nu, com porosidade difusa não uniforme. A espécie apresentou agrupamentos de vasos solitários e camadas de crescimento indistintas.

Figura: Seção macroscópica do plano transversal da madeira da espécie *Guarea guidonea*.



Fonte: Francisca M. L.M 2023

Já a espécie *Couropita subsessilis* apresentou parênquima axial apotraqueal reticulado visível somente sob lente de aumento de 10 vezes, raios visíveis sob lente de aumento de 10 vezes principalmente nos planos transversal e tangencial. Os poros são possíveis observar a olho nu, com agrupamento de vasos solitários e camadas de crescimento pouco distintas.

Figura: Seção macroscópica do plano transversal da madeira da espécie *Couropita subsessilis*.



Fonte: Francisca M. L.M 2023

4. CONCLUSÃO

A caracterização macroscópica e organoléptica das espécies *Guarea guidonia* e *Couropita subsessilis*, provenientes de florestas de várzea do Médio Solimões, demonstrou que essas análises são ferramentas eficazes para a identificação correta das madeiras. Ambas as espécies apresentaram características anatômicas distintas, como tipos de parênquima axial e distribuição dos poros, além de propriedades organolépticas específicas, como textura, brilho e odor. A *Guarea guidonia* destacou-se pela rigidez ao corte, parênquima aliforme e porosidade difusa não uniforme, enquanto a *Couropita subsessilis* apresentou madeira macia, com cheiro agradável e parênquima reticulado. Esses resultados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a diversidade madeireira das florestas de várzea e reforçam a importância da anatomia macroscópica no reconhecimento e manejo sustentável de espécies amazônicas.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C. et al. Elaboração de uma chave de identificação das principais madeiras comercializadas no estado do espírito santo. Enciclopédia biosfera – Centro científico conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 979-988, 2013.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991, 154 p.

OLIVEIRA, L. C. Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós. 2005. Tese (Doutorado em Recursos florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

UNODC. Best Practice Guide for Forensic Timber Identification. New York: United Nations Office on Drugs and Crime; 2016.

DETERMINAÇÃO DOS CONSTITUINTES DO CERNE DE CLONES DE *Eucalyptus* sp. PROVENIENTES DA FEAG/CPCE/UFPI POR ESPECTROSCOPIA UV-VIS

Vinicius Guerra Rocha*; Leandra Ribeiro da Silva; Maria Elisa Ferreira Ribeiro; Rosalvo Maciel Guimarães Neto; Marcelo Xisto Ribeiro

Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Piauí, Brasil.

*Autor correspondente: guerrarochavinicius@gmail.com

Resumo: O gênero *Eucalyptus* é de suma importância para a indústria florestal brasileira, com destaque na produção de energia, papel, celulose e madeira serrada. O Piauí tem se destacado como uma nova fronteira florestal devido a sua abundância em terras e FEAG/CPCE/UFPI tem desempenhado um papel fundamental com pesquisas para esse gênero. Este trabalho foi executado na tentativa de caracterizar os constituintes do cerne de clones de eucalipto produzidos na FEAG/CPCE/UFPI a partir da espectroscopia UV-Vis. Foram analisados dois clones de *Eucalyptus* sp. com amostras de cerne coletadas em cinco posições do fuste. O material foi moído, peneirado (60 mesh) e submetido à análise espectrofotométrica (200–700 nm), conforme normas TAPPI T257 om-92 e ABCP M4/68m, com adaptações. Os picos de absorbância variaram entre 290 e 340 nm, sugerindo presença de lignina com diferentes graus de condensação. A maior absorção acima de 300 nm indica potencial para uso tecnológico, como proteção UV, devido à estrutura aromática da madeira.

Palavras chave: Lignina; Extrativos; Absorbância

Abstract: The genus *Eucalyptus* is of great importance to the Brazilian forestry industry, with a significant role in the production of energy, paper, pulp, and sawn timber. The state of Piauí has emerged as a new forestry frontier due to its abundance of land, and FEAG/CPCE/UFPI has played a key role through research on this genus. This study was carried out in an effort to characterize the heartwood constituents of *Eucalyptus* clones produced at FEAG/CPCE/UFPI using UV-Vis spectroscopy. Two *Eucalyptus* clones were analyzed, with heartwood samples collected from five positions along the stem. The material was ground, sieved (60 mesh), and subjected to spectrophotometric analysis (200–700 nm), according to TAPPI T257 om-92 and ABCP M4/68 standards. Absorbance peaks ranged from 290 to 340 nm, suggesting the presence of lignin with varying degrees of condensation. Higher absorption above 300 nm indicates potential for technological applications, such as UV protection, due to the aromatic structure of the wood.

Keywords: Lignin; Extractives; Absorbance

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de *Eucalyptus* é de suma importância para a indústria florestal, com destaque na produção de energia, papel, celulose e madeira serrada. A consolidação do Piauí como uma nova fronteira florestal se deve à abundância de terras, ao clima propício e ao interesse em fontes renováveis de biomassa (ALADARES *et al.*, 2020). A Fazenda Experimental Alvorada do Gurguéia (FEAG/CPCE/UFPI) pode desempenhar um papel importante nesse processo, conduzindo pesquisas com os diferentes clones de eucalipto plantados e avaliando seu desempenho silvicultural. Vale ressaltar o quão crucial é o uso de clones para assegurar uniformidade, produtividade e resistência às condições edafoclimáticas desfavoráveis do cerrado do Piauí. Pesquisas conduzidas no estado

evidenciam uma interação significativa entre genótipo e ambiente, destacando a relevância de escolher materiais genéticos ajustados às circunstâncias locais (VASCONCELOS *et al.*, 2021).

Em se tratando da constituição, a madeira possui uma estrutura e composição química variada, sendo composta principalmente por celulose, hemicelulose, lignina e componentes acidentais. Esses últimos, apesar de não integrarem a parede celular, afetam diretamente qualidades como cor, cheiro, resistência a ataque de agentes biológicos, sendo de grande importância para uso na indústria (SOUZA *et al.*, 2015) e são diretamente influenciados pela espécie, idade da árvore e condições ambientais (VIANA e PONTES, 2019).

A análise espectrofotométrica na região do ultravioleta-visível (UV-VIS) corresponde a faixa de comprimento de onda compreendida entre 160 nm à 780 nm do espectro eletromagnético. Técnica amplamente empregada devido à sua robustez, custo baixo e vasta gama de aplicações (CANASSA *et al.*, 2018; KICH e BOCKEL, 2017). De acordo com Machado *et al.* (2021), trata-se de uma tecnologia aplicável para determinação de compostos orgânicos e inorgânicos.

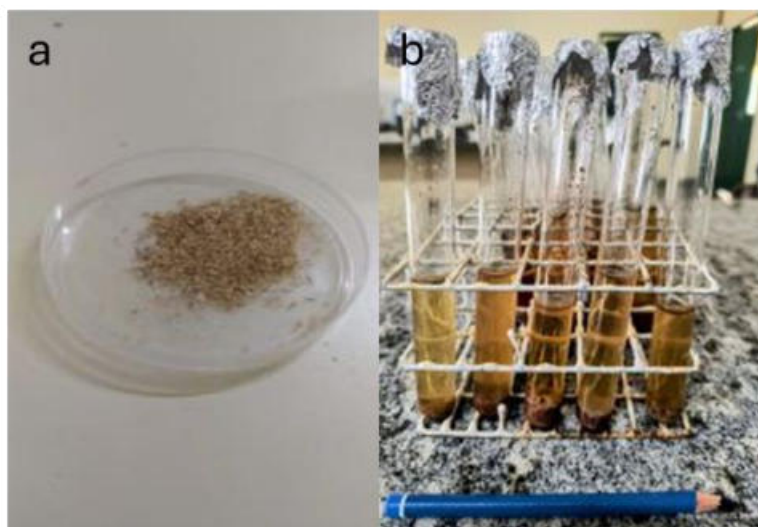
Diante do exposto, este trabalho foi executado na tentativa de caracterizar os constituintes do cerne de clones de eucalipto produzidos na FEAG/CPCE/UFPI a partir da espectroscopia UV-Vis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi proveniente de dois clones de *Eucalyptus* sp., provenientes de um plantio experimental localizado na Fazenda Experimental Alvorada do Gurgueia (FEAG/CPCE/UFPI), situada entre as coordenadas 8°22'37" de latitude sul e 43°50'35" de longitude oeste. Foram selecionados cinco indivíduos de cada clone, retirando amostras de madeira em cinco posições ao longo do fuste e levadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do CPCE/UFPI.

De cada posição amostrada, foram retiradas lascas de madeira do cerne e posteriormente moídas em moinho tipo Wiley. O material obtido foi peneirado e coletado o que ficou retido na peneira de 60 mesh, conforme a norma TAPPI T257 om-92 com adaptações. Para cada indivíduo, 1g absolutamente seco foi transferido para tubos de vidro medindo 15x150 mm e adicionados 20 ml de água (Figura 1).

Figura 4: Amostra peneirada (a) e extrato aquoso (b) produzido a partir de lascas de madeira do cerne de clones de *Eucalyptus* sp. plantados na FEAG/CPCE/UFPI.

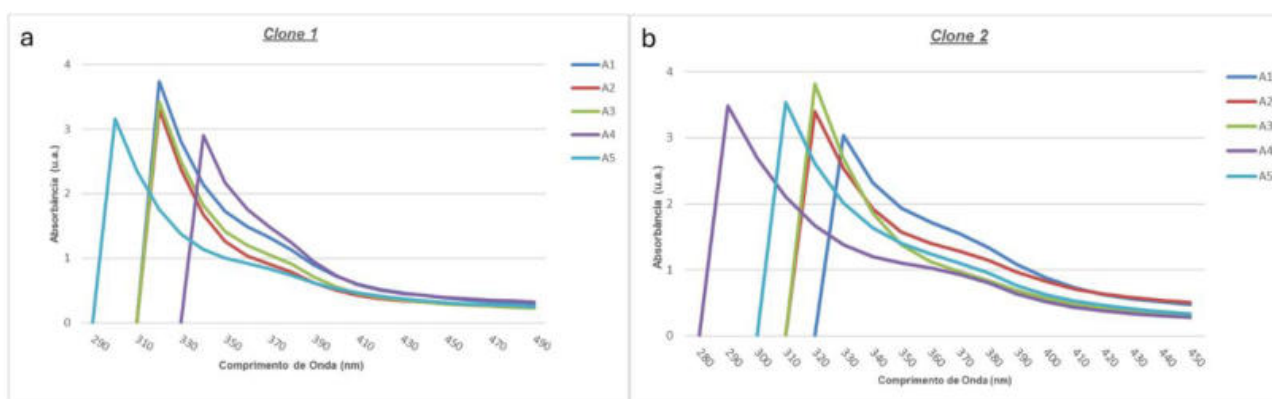


As análises espectrofotométricas foram realizadas em um leitor de microplacas BioTek MX SMA, nas faixas do ultravioleta e visível (UV-Vis), com as leituras de absorbância registradas em função dos comprimentos de onda (entre 200 e 700 nm). Todo o procedimento seguiu as recomendações da norma ABCP M4/68 (1974), com adaptações, como a utilização de peneira doméstica, agitação manual das amostras para homogeneização e o uso de água filtrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química, o controle da secagem, a avaliação da resistência mecânica, a análise da composição química e por consequência a estimativa da qualidade da madeira, são algumas aplicações que podem ser obtidas a partir dos valores de absorbância e os comprimentos de onda absorvidos pela madeira de eucalipto (LIMA *et al.*, 1997). A Figura 2 mostra os gráficos das médias das varreduras espectrofotométricas de clones de *Eucalyptus* sp. baseadas na absorbância em cada comprimento de onda.

Figura 5: Análise espectrofotométrica de clones de *Eucalyptus* sp. plantados na FEAG/CPCE/UFPI.



As faixas de absorbância para os indivíduos dos dois clones foram observadas em comprimentos de onda inferiores a 400nm. Para o clone 1, todos os picos foram observados em comprimentos de onda maiores que 300 nm, enquanto para o clone 2, um indivíduo apresentou pico abaixo de 300 nm (indivíduo 4) e os demais acima de 300 nm. Os indivíduos de ambos os clones apresentaram um único pico. Machado *et al.* (2021) encontraram valores semelhantes identificando madeiras comerciais tropicais por espectrofotometria UV-Vis, justificando devido a presença de grupos cromóforos que absorvem luz na região do UV.

Para o clone 1, os indivíduos 1, 2 e 3 apresentaram pico em 320 nm, porém a absorbância foi observada em faixas diferentes (3,734 para primeiro, 3,301 para o segundo e 3,424 para o terceiro). O indivíduo 4 apresentou pico em 340 nm com absorbância de 2,899 e o indivíduo 5 em 300 nm com 3,163 de absorbância.

Em relação ao clone 2, os indivíduos 2 e 3 apresentaram pico em 320 nm e absorbância de 3,395 e 3,821, respectivamente. O indivíduo 1 apresentou pico em 330 nm com 3,036 de absorbância, o indivíduo 4 teve o pico em 290 nm e absorbância de 3,486 enquanto o pico do indivíduo 5 foi observado em 310 nm com absorbância de 3,539.

É possível observar padrões para determinação qualitativa e quantitativa dos extrativos da madeira (MACHADO *et al.*, 2021). Os mesmos autores citaram o ácido tânico (270 nm), o ácido gálico (271 nm) e o ácido pirogálico (267 nm) como exemplos de substâncias com comprimentos de onda conhecidos. Neste trabalho os valores obtidos foram maiores e necessitam de investigação.

A espectrofotometria UV-Vis mostrou padrões de absorção nos extratos aquosos de madeira do cerne de clones de *Eucalyptus* sp., cujos picos principais ocorreram entre 290 e 340 nm. Estes resultados estão próximos do padrão espectral da lignina, onde a absorção característica encontra-se em torno de 280 nm, devido presença de anéis aromáticos com grupos hidroxila fenólicos (CRUZ *et al.*, 2019; TOSIN *et al.*, 2025). A maior intensidade de absorção em comprimentos de onda acima de 300 nm pode estar relacionado à presença de unidades guaiacílicas e fenólicas condensadas, o que aumenta a densidade eletrônica e desloca o pico (*red shift*). Isso mostra ligninas com diferentes graus de condensação, influenciadas por genética e ambiente.

Esses dados são compatíveis com estudos de ligninas técnicas como os lignossulfonatos de magnésio, que apresentam maior teor de hidroxilas fenólicas e também maior absorbância na faixa UV. Conforme Goliszek *et al.* (2023), ligninas também atuam como grandes bloqueadores UV em materiais compostos, devido à sua estrutura aromática conjugada. Portanto, os padrões espectrais aqui demonstrados não só corroboram a presença de lignina nos extratos, como também sinalizam potencial tecnológico para aplicações em proteção UV e valorização da biomassa (CRUZ *et al.*, 2019).

4. CONCLUSÃO

Não foi possível caracterizar os componentes presentes no cerne dos clones de *Eucalyptus* apenas com a análise espectrofotométrica pois a absorção de luz pela madeira de eucalipto é um processo complexo que depende de diversos fatores. Estudos específicos a respeito da relação da madeira de eucalipto com a espectroscopia UV-Vis precisam ser executados a fim de obter resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS

- ALADARES, G. M., LANDAU, E. C., MAIA, N. L. M. **Evolução da produção de eucalipto (*Eucalyptus* spp. e outros gêneros, Myrtaceae)**. In: LANDAU, Elena Charlotte; SILVA, Gilma A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A. (org.). *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Cap. 44. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122712/1/Cap44-EvolucaoProducaoEucalipto.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.
- CANASSA, Thalita A.; LAMONATO, Anna Luisa; RIBEIRO, Allan Victor. **Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções**. *Journal of Experimental Techniques and Instrumentation*, v. 1, n. 2, 2018.
- CRUZ, V. M., DANGELO, J. V. H., e DE OLIVEIRA, V. B. (2019). **Determinação Do Teor De Lignina Total Em Amostras Do Processo De Extração Da Lignina Do Licor Negro**. *Outubro*, 22, 24.)
- GOLISZEK, M., PODKOŚCIELNA, B., SMYK, N., SEVASTYANOVA, O. **Towards lignin valorization: lignin as a UV-protective bio-additive for polymer coatings**. *Pure and Applied Chemistry*, [S.l.], v. 95, n. 5, p. 475–486, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1515/pac-2022-1209>.
- KICH, M., BOCKEL, W. J. **Análise de óleos e graxas em efluentes por espectrofotometria**. *Estação Científica (UNIFAP)*, v. 7, n. 3, p. 61-69, 2017.

- LIMA, T. G. D., LUCIA, R. M. D., & PIMENTA, A. S. (1997). **Variabilidade dos teores de extrativos solúveis em água quente e em água fria das madeiras de *Eucalyptus microcorys* e de *Eucalyptus pilularis*.** *Floresta e Ambiente*, 4, 61-67.
- MACHADO, A. C. S., GOUVÊA, A. D. F. G., DE SOUZA CÔRREA, J., & SALMAZZO, G. R. (2021). **Identificação de madeiras comerciais tropicais por espectrofotometria UV-VIS.** *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 8(19), 52-67.
- SOUZA, L. S. de; DALVI, L. C.; JUSTINO, C. C. **Nova visão quantitativa e qualitativa da madeira para o processo de produção de celulose.** *Eucalyptus*. Online Book & Newsletter, 2015. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Madeira%2BProcesso_T.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.
- TOSIN, K. G.; FINIMUNDI, N.; POLETTO, M. **A systematic study of the structural properties of technical lignins.** *Polymers*, Basel, v. 17, n. 214, p. 1–14, 2025.
- VASCONCELOS, A. D. M., PAVAN, B. E., SILVA, W. M., BETANCOURT, J. R., CASTILLO, G. V. B.; COSTA, T. K. C. L. **Interação genótipo x ambiente para seleção de clones de eucalipto no Médio Parnaíba.** *Agropecuária Científica no Semiárido*, Patos, v. 17, n. 2, p. 100–107, abr./jun. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v17i2.1235>
- VIANA, B. N., PONTES, K. V. **Investigação e predição de teores de extrativos em madeira de eucalipto com base no modelo de análise de componente principal e redes neurais.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 52., 2019, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABTCP, 2019. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2019_Predizao%2BExtrativos.pdf. Acesso em: 22 maio 2025.

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DA ESPÉCIE *Hevea brasiliensis* Willd. Ex A. Juss. Müll. Arg.

Ariane Mateus de Souza^{1*}; Camila Juliana Sampaio Pereira¹; Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho¹; João Gilberto Meza Ucella Filho¹; Angelica de Cassia Oliveira Carneiro¹; Pamella Caroline Marques dos Reis Reis²; Leonardo Pequeno Reis²

¹ Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil.

*Autor correspondente: ariane.mateus.7@gmail.com

Resumo: O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização macroscópica e das propriedades organolépticas da espécie *Hevea brasiliensis*. A espécie é uma importante cultura perene nativa da Amazônia, muito conhecida pela produção de látex. Utilizada na fabricação de borracha natural, suas características anatômicas também despertam interesse científico, especialmente em estudos que envolvem identificação e uso da madeira. As amostras foram coletadas em um plantio localizado no município de Capitão Poço, no estado do Pará, por meio de um método invasivo não destrutivo. Foram coletados oito indivíduos de forma aleatória, onde os corpos de prova foram divididos em três partes (casca, intermediário e medula) e analisados nos planos transversal, radial e tangencial. A observação foi feita com auxílio de lupa, bisturi e lixas para melhor visualização das estruturas. Entre as características observadas, se destaca a porosidade difusa, presença de poros solitários, parênquima axial do tipo paratraqueal reticulado e raios pouco visíveis e não estratificados. Essas características ajudam na identificação correta da madeira em nível macroscópico. Além disso, foi realizada a caracterização organoléptica da espécie que apresentou coloração amarelada, textura média, grã direita, dureza moderada e não apresentou cheiro ou gosto marcantes. Conclui-se que, tanto as características macroscópicas e organolépticas da madeira da espécie *Hevea brasiliensis* podem contribuir para sua identificação correta.

Palavras-chave: Propriedade organoléptica; Anatomia da madeira; *Hevea brasiliensis*.

MACROSCOPIC CHARACTERIZATION OF THE SPECIES *Hevea brasiliensis* Willd. Ex A. Juss. Müll. Arg.]

Abstract: The objective of this study was to perform the macroscopic and organoleptic characterization of the species *Hevea brasiliensis*. This species is an important perennial crop native to the Amazon, widely known for its latex production. Used in the manufacturing of natural rubber, its anatomical characteristics also attract scientific interest, especially in studies involving wood identification and utilization. Samples were collected from a plantation located in the municipality of Capitão Poço, in the state of Pará, using a non-destructive invasive method. Eight individuals were randomly sampled, and the test specimens were divided into three parts (bark, intermediate, and pith) and analyzed in the transverse, radial, and tangential planes. Observations were made using a magnifying glass, scalpel, and sandpapers to enhance the visualization of structures. Among the observed features, diffuse porosity, the presence of solitary vessels, reticulate paratracheal axial parenchyma, and slightly visible, non-stratified rays stood out. These characteristics assist in the accurate macroscopic identification of the wood. Additionally, the organoleptic characterization revealed a yellowish color, medium texture, straight grain, moderate hardness, and no notable odor or taste. It is concluded that both the macroscopic and organoleptic characteristics of *Hevea brasiliensis* wood can contribute to its accurate identification.

Keywords: Organoleptic Properties; Wood anatomy; *Hevea brasiliensis*.

1. INTRODUÇÃO

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) pertence à família Euphorbiaceae. É uma importante cultura perene nativa da Amazônia, muito conhecida pela produção de látex, utilizada na fabricação

de borracha natural (GONÇALVES *et al.*, 1989a). Apesar da existência de cerca de 2500 espécies de plantas produtoras de látex, somente *H. brasiliensis* se estabeleceu como uma fonte de borracha para as indústrias desse seguimento (BACKHAUS, 1985).

Para França *et al.* (2015), as dimensões, frequência e distribuição dos constituintes anatômicos, afetam as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Estruturas como a espessura e o comprimento da parede celular estão relacionados com a resistência das fibras celulósicas e afetam as propriedades físicas (estabilidade dimensional e densidade). As características anatômicas da madeira possuem influência ambiental e genética, e a combinação específica dessas características possibilitam a distinção de grupos taxonômicos (UNODC, 2016).

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas que desempenham funções vitais como a condução de líquidos; transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal; que apesar de parecer um corpo maciço apresenta um material bastante heterogêneo e anisotrópico. Em razão dessas características, o estudo macroscópico da madeira torna-se necessário para sua descrição e identificação (BURGER *et al.*, 1991).

O estudo da anatomia da madeira das espécies da Amazônia é importante pois este ecossistema possui uma biodiversidade imensurável e ainda pouco conhecida (REIS *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015). Segundo Firmino (2016), as espécies que ocorrem em florestas com características distintas, podem apresentar a formação estrutural do lenho das árvores com elementos diferentes, ocasionado em função da sua área de crescimento, logo o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização macroscópica e das propriedades organolépticas da espécie *Hevea brasiliensis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta das amostras

As amostras utilizadas são de origem do estado do Pará. Elas foram coletadas utilizando método invasivo não destrutivo (MND), com um trato incremental de 300 mm e 3 roscas em um plantio na cidade de Capitão Poço próximo a comunidade Boca Nova na PA 124 (Lat: 01°51'14,66" S Long: 47°03'49,63" O). Os corpos de prova consistem no formato de filetes, que foram coletados em uma altura de 1,30 m (DAP). Foi realizado a coleta em oito indivíduos aleatoriamente.

2.2 Caracterização macroscópica e organoléptica da madeira

Os corpos de prova em forma de filete foram divididos em casca, intermediário e medula, sendo observado os planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Para essa análise utilizou-se uma sequência de lixas de granulometria crescente de 120, 180, 220, 320 para o polimento, um bisturi e uma lupa conta-fios com aumento de 10 vezes. Além da análise macroscópica, foram determinadas as propriedades organolépticas como: cor, textura, grã, desenho, dureza entre outras. Na realização da descrição das estruturas anatômicas macroscópicas da madeira foram utilizadas as normas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis/IBAMA (1992). Esse trabalho foi realizado no Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira (LANTOM) da Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capitão Poço.

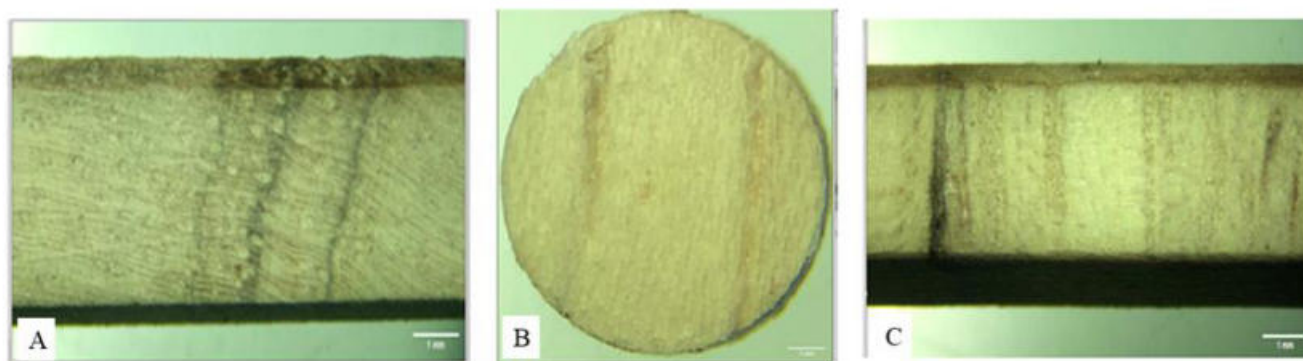
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização macroscópica da espécie *Hevea brasiliensis*.

No plano transversal foi possível caracterizar, poros visíveis a olho nu, predominantemente solitários, com porosidade difusa, arranjos radiais e diagonais, obstruídos por tilose. Camada de

crescimento indistinta. Parênquima axial: visível com auxílio de lente de 10 vezes, paratraqueal reticulado e em linhas, com tendência a formação de retículos. Raios visíveis a olho nu. No plano tangencial os raios foram pouco visíveis em lente de 10 vezes e não estratificados, e no plano radial foi possível observar raios pouco contrastados (Figura 1). Segundo Oliveira (1994), a macroscopia é sem dúvida uma parte da anatomia que possui melhor aplicação prática.

Figura 1: Planos anatômicos da madeira. a) plano transversal; b) plano tangencial, c) plano radial.



3.2 Propriedades Organolépticas da espécie *Hevea brasiliensis*.

A espécie estudada apresentou uma coloração amarelada, sem brilho, gosto imperceptível, cheiro indistinto, textura média, grã direita, dureza moderada. Essas foram as características organolépticas possíveis de se caracterizar.

4. CONCLUSÃO

A partir da caracterização macroscópica e organoléptica da madeira de *Hevea brasiliensis* permitiu identificar estruturas anatômicas relevantes para sua diferenciação entre outras espécies. A presença de poros solitários com porosidade difusa, parênquima axial paratraqueal reticulado, raios não estratificados e a ausência de características organolépticas marcantes são aspectos que reforçam sua identificação. Esses resultados demonstram a importância da análise macroscópica como ferramenta na identificação da madeira, contribuindo para estudos anatômicos e aplicações adequada da madeireira.

REFERÊNCIAS

- BACKHAUS, R A. Rubber formation in plants-a mini-review. **Israel Journal of Botany**, v. 34, n. 2-4, p. 283-293, 1985.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991, 154 p.
- FIRMINO, A. V. **Qualidade da madeira de andiroba em floresta de terra firme e várzea da Amazônia Oriental**. 2016. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Espírito Santo, 2016.
- FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 633-640 2015.

GONÇALVES, P. S. et al. Biologia, citogenética e ploidia de espécies do gênero *Hevea*. **O Agrônomo**, v. 41, n. 1, p. 40-64, 1989a.

IBAMA-Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Normas para procedimentos em estudos de anatomia de madeira**: I.angiospermae, II.gimnospermae. Brasília: 19 p. (Série Técnica, 15), 1992.

OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; LIMA, L. A. P. Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira na forma de serragem. Viçosa. (Boletim Técnico). **Sociedade de Investigações Florestais**, n.5, 6p, 1994.

REIS, P. C. M. dos; REIS, A. R. S.; LISBOA, P. L. B.; REIS, L. P. Anatomia do lenho de seis espécies do gênero *Cecropia* Loebl. (Urticaceae). Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Cienc. Nat.**, Belém, v. 9, n. 1, p. 169-181, jan.-abr. 2014.

UNODC. **Best Practice Guide for Forensic Timber Identification**. New York: United Nations Office on Drugs and Crime; 2016.

ESTRUTURA ANATÔMICA DE DOIS CLONES DE SERINGUEIRA

Mariane da Silva Moreira^{1*}; Lívia Martins Nunes Pereira¹; Josie Tatiane Santos de Almeida Gondim Monteiro¹; Carlos Augusto Cardoso Fernandes¹; Manuela Brum da Costa¹; Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde²; João Vicente de Figueiredo Latorraca¹

¹ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente: sk.msilva@hotmail.com

Resumo: A seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) é uma espécie amazônica de grande importância econômica devido à produção de látex, matéria-prima da borracha natural. O desenvolvimento de clones normalmente visa o aumento da produtividade do látex, mas pouco se sabe se o melhoramento genético altera as características anatômicas da madeira. Assim, este estudo comparou dois clones da espécie, avaliando características anatômicas macro e microscópica. Foram analisadas as características organolépticas, bem como o diâmetro e frequência dos vasos, características dos raios e propriedades das fibras. A madeira apresentou cor bege clara e textura fina a média. Foram observados vasos com porosidade difusa, arranjos múltiplos radiais e solitários, e placas de perfuração simples. As fibras não são septadas. Os resultados demonstraram que, qualitativamente, não houve diferenças anatômicas entre os clones. Contudo, foram identificadas diferenças morfológicas no diâmetro e na frequência de alguns caracteres. Apesar dessas variações, ambas as madeiras apresentaram uniformidade estrutural, indicando que o melhoramento genético não afetou sua morfologia anatômica.

Palavras chave: Anatomia da madeira; Seringueira; Clone.

ANATOMICAL STRUCTURE OF TWO RUBBER TREE CLONES

Abstract: The rubber tree (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) is an Amazonian species of great economic importance due to its latex production, the primary raw material for natural rubber. The development of clones generally aims to increase latex yield; however, little is known about whether genetic improvement affects the wood's anatomical characteristics. This study compared two clones of the species, evaluating anatomical features at both macro and microscopic levels. Organoleptic properties, vessel diameter and frequency, ray characteristics, and fiber properties were analyzed. The wood exhibited a light beige color and fine to medium texture. Vessels showed diffuse porosity, occurring in multiple radial arrangements or as solitary pores, with simple perforation plates. Fibers were non-septate. The results showed no qualitative anatomical differences between the clones. However, some morphological differences were identified in vessel diameter and frequency. Despite these variations, both woods presented structural uniformity, indicating that genetic improvement did not affect their anatomical morphology.

Keywords: Wood Anatomy; Rubber Tree; Clone.

1. INTRODUÇÃO

O nome científico da seringueira foi proposto pelo botânico Frances Fusée Auble no ano de 1762 ao escrever uma monografia sobre esta espécie e propôs a classificação científica *Hevea brasiliensis*, a palavra “Hevea”, derivado da palavra “hevé”, usada pelos indígenas para indicar a

planta e a espécie como *brasiliensis*, em homenagem ao Brasil, no qual a árvore era abundante (D'Agostini et al., 2013).

Seu destaque se dá, principalmente, pela produção de látex natural, uma matéria-prima essencial para a indústria da borracha (Silva et al., 2021). Quando as árvores de seringueira atingem entre 25 e 30 anos de idade e a produção de látex torna-se economicamente inviável, costumam ser direcionadas à supressão e sua madeira, geralmente utilizada como combustível, pode ter usos industriais (Kamala & Rao, 1989).

A caracterização anatômica da madeira é fundamental para o reconhecimento e identificação de madeiras em geral, garantindo segurança e confiabilidade no seu uso (Botosso, 2011). Segundo Benites et al. (2015), o conhecimento das propriedades anatômicas é essencial para assegurar o uso adequado desse recurso, evitando desperdícios e aplicações inadequadas. Dessa forma, a avaliação dessas propriedades torna-se indispensável para otimizar o aproveitamento da madeira.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os aspectos qualitativos e quantitativos da madeira de *Hevea brasiliensis*, por meio de um comparativo entre dois clones, a fim de verificar possíveis alterações, provocadas pelo melhoramento genético, nas características anatômicas de sua madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando a madeira proveniente de dois diferentes materiais genéticos, gerados por clonagem, da espécie *Hevea brasiliensis*. Para obtenção das amostras, inicialmente obteve-se, a partir do desdobro primário da primeira tora, uma prancha diametral com 2,5 m de comprimento e 60 cm de espessura.

A partir dessa prancha, foram retirados dois corpos de prova, de locais aleatórios, representativos de cada clone (Clone 1 e Clone 2), com dimensões de $1,5 \times 1,5$ cm, destinados à caracterização macroscópica da madeira, para a descrição de suas propriedades organolépticas e dos elementos anatômicos. Para cada corpo de prova, efetuou-se um polimento para uma melhor observação dos elementos anatômicos e sua identificação foi realizada com o auxílio de uma lupa. As fotomicrografias foram obtidas a partir de uma câmera 13 MP, com auxílio de uma lupa de 10x de aumento e processadas no *software ImageJ*.

Para a caracterização microscópica, as amostras referentes ao Clone 1 e Clone 2 foram submetidas a um processo de amolecimento através do seu cozimento. Posteriormente ao processo de amolecimento, os corpos de prova foram fixados no micrótomo de deslize (MICROM HM 450) para serem seccionados nos planos de corte transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, obtendo cortes com 16 μm de espessura. Para a confecção das lâminas semipermanentes (Purvis et al., 1964), os cortes histológicos foram submetidos a uma dupla coloração com safranina e azul de astra, na proporção 9,5:0,5 (adaptado de Bukatsch, 1972).

O preparo dos corpos de prova para a maceração consistiu na fragmentação da madeira de cada clone no sentido das fibras e a dissociação foi baseada na metodologia descrita por Franklin (1945), porém com modificação no tempo de dissociação para 8h e na temperatura para 70°C. Após o processo, os fragmentos foram corados com safranina a 1% e utilizados no preparo das lâminas semipermanentes para análise quantitativa das fibras em relação ao seu comprimento (μm), diâmetro total (μm) e espessura da parede (μm); e comprimento dos elementos de vasos (μm). Todas as mensurações foram realizadas de acordo com os padrões estabelecidos pelo *International Association of Wood Anatomy Committee* (IAWA, 1989). As imagens foram feitas por meio de câmera de alta

resolução acoplada em microscópio óptico *Olympus BX51* conectado ao *software cellSens Standard* e foram analisadas no *software Image Pro-Plus® 4.5.0.29*.

Foi realizada uma comparação no *software Microsoft Excel* com base na média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação de cada um dos parâmetros mensurados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. DESCRIÇÃO ANATÔMICA MACROSCÓPICA

Características gerais da madeira: cor bege claro, odor não característico, gosto indistinto, textura fina a média, grã levemente irregular, brilho pouco contrastado.

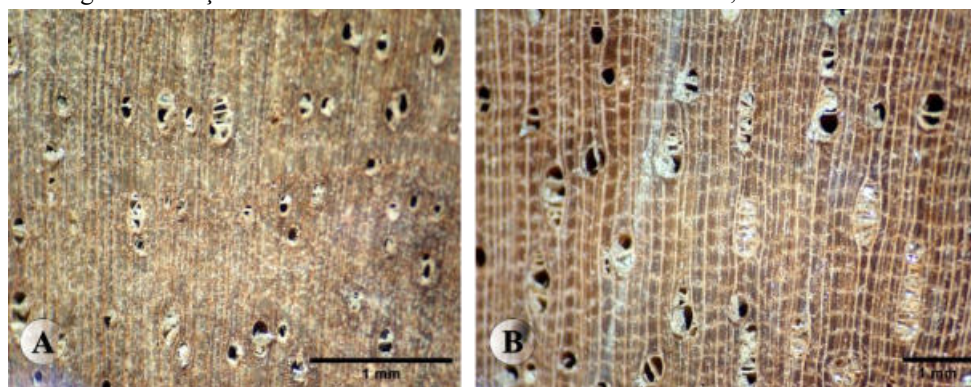
Parênquima Axial: visível somente com auxílio de lente de 10x, em faixas do tipo reticulado.

Raios: visíveis somente com auxílio de lente de 10x nos planos transversal e longitudinal tangencial, pouco contrastados no plano longitudinal radial, finos, numerosos e não estratificados.

Vasos: visíveis sem auxílio de lente de 10x, pequenos a médios, numerosos, porosidade difusa, predominantemente múltiplos radiais (2 a 3 vasos) e solitários, em arranjo radial (Figura 1).

Camadas de Crescimento: demarcadas por zonas fibrosas.

Figura 1: Fotomacrografia da seção transversal da *Hevea brasiliensis*. A: Clone 1; B: Clone 2.



b. DESCRIÇÃO ANATÔMICA MICROSCÓPICA

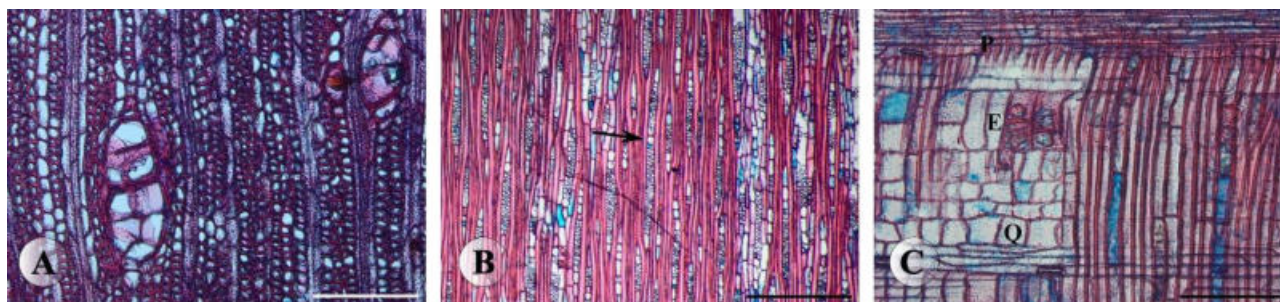
Vasos: Placa de perfuração simples e presença de apêndices de variados tamanhos, frequentemente em ambas as extremidades. Pontoações intervasculares alternas; pontoações raio-vasculares com aréolas reduzidas, aparentemente simples, arredondadas ou angulares. Diâmetro tangencial de 51,56 μm a 238,47 μm . Frequência de vasos (vasos/ mm^2) 1-13. Comprimento dos elementos de vasos variando entre 346,62 μm a 1083,39 μm . Presença frequente de tilos comuns (Figura 2A) e ocasionalmente esclerificados (Figura 3B).

Fibras: não septadas, com paredes delgadas a espessas. Comprimento variando entre 298,22 μm a 1630,62 μm e pontoações simples.

Raios: numerosos, com variação entre 12 a 29 raios/mm linear. Multisseriados e com composição celular heterogênea: presença de células procumbentes, células marginais quadradas e/ou eretas (Figura 2C). Presença de raios fusionados (Figura 2B).

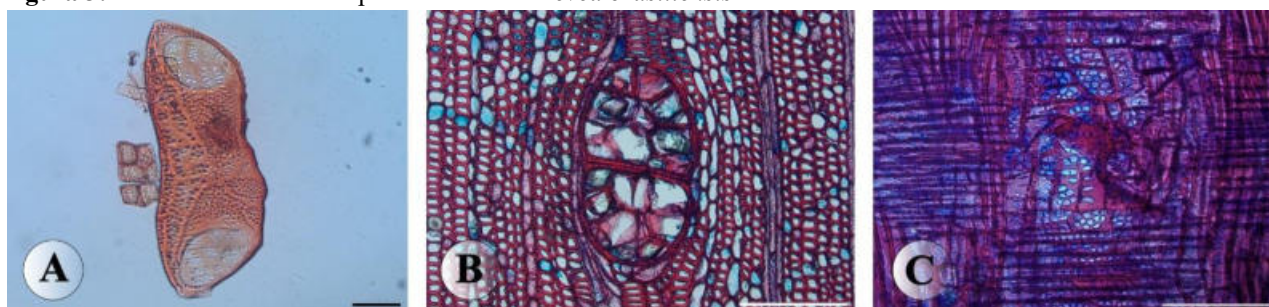
Inclusões minerais: presença de cristais prismáticos nas células eretas e quadradas dos raios (Figura 2C), no parênquima axial ocasionalmente formando série cristalíferas e nos tilos.

Figura 2: Anatomia do lenho de *Hevea brasiliensis*.



A: Seção transversal, com a presença de tило comum; B: seção longitudinal tangencial, com raios multisseriados e presença de raios fusionados; C: seção longitudinal radial, apresentando composição celular heterogênea dos raios: células procumbentes (P), células marginais quadradas (Q) e células eretas (E) com presença de cristais prismáticos. Barra de escala: A/B/C = 200 μm .

Figura 3: Anatomia do lenho e tipos celulares de *Hevea brasiliensis*.



A: Macerado: elemento de vaso com placa de perfuração simples pontoações raio-vasculares com aréolas reduzidas, aparentemente simples, arredondadas ou angulares; B: Seção transversal: tilos esclerificados; C: Seção longitudinal radial: destaque para as pontoações raio-vasculares. Barra de escala: A = 100 μm ; B/C = 200 μm .

c. ANÁLISE COMPARATIVA

A análise anatômica quantitativa dos dois clones da seringueira avaliados revelou diferenças significativas em diversos parâmetros, tanto em relação às médias quanto à variabilidade dos dados.

No que se refere ao diâmetro tangencial e radial dos vasos, o clone 2 apresentou médias superiores (195,47 μm e 204,80 μm , respectivamente) em comparação ao clone 1 (120,40 μm e 134,56 μm). Apesar disso, os coeficientes de variação (CV) foram ligeiramente menores no clone 2, indicando maior uniformidade desses elementos vasculares. Essa característica pode favorecer a condução de seiva, e, potencialmente, a produtividade da planta, embora valores excessivamente altos possam comprometer a resistência mecânica da madeira (Zanchetta, 2021).

A frequência de vasos foi equivalente em ambos os clones (6,00 vasos/ mm^2), com coeficientes de variação altos (42,47% no clone 1 e 42,78% no clone 2), sugerindo alta heterogeneidade na distribuição desses elementos.

Em relação à altura dos elementos de vaso, altura e largura de raios, o clone 2 apresentou valores médios inferiores aos do clone 1. No entanto, os CVs mais baixos no clone 2 (ex: 25,36% para altura de raios, frente a 33,01% no clone 1) indicam maior consistência dos dados.

Na frequência de raios, o clone 2 se destacou por apresentar maior média (23,00 mm^{-1}) e menor variabilidade (CV = 15,22%). Quanto às fibras, o comprimento foi maior no clone 2 (1244,94 μm contra 1167,63 μm no clone 1), com menor dispersão (CV = 16,81%). Já o diâmetro total das fibras, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular também foram superiores no clone 2, com destaque para a espessura da parede (4,59 μm no clone 2 frente a 3,47 μm no clone 1). Além disso, o CV associado à espessura da parede foi bem inferior no clone 2 (20,92% contra 34,48%), sugerindo maior estabilidade anatômica.

As avaliações anatômicas em níveis macro e microscópico contemplaram ambos os clones da seringueira, revelando similaridade nas características gerais da madeira e nos caracteres anatômicos analisados. Os elementos observados na microscopia estavam presentes em ambos os clones, sem variações qualitativas significativas. No entanto, foram identificadas diferenças quantitativas específicas: o clone 2 apresentou vasos de maior diâmetro, enquanto o clone 1 apresentou raios mais largos e altos, porém com menor frequência em comparação ao clone 2. Além disso, as fibras do clone 2 demonstraram ser mais longas e espessas em relação ao clone 1. Essas variações quantitativas, embora relevantes, não comprometem a estrutura anatômica da madeira nem afetam significativamente sua qualidade para o destino final.

4. CONCLUSÃO

O estudo comparativo da estrutura anatômica da madeira de dois clones da espécie *Hevea brasiliensis* demonstrou que ambos os clones não apresentaram diferenças significativas em seus caracteres anatômicos avaliados tanto em nível macroscópico quanto microscópico. Com esses resultados conclui-se que o melhoramento genético não impactou a morfologia anatômica da madeira, mantendo a uniformidade estrutural entre os clones analisados.

REFERÊNCIAS

BENITES, P. K. R. M. et al. **Caracterização anatômica das fibras de oito Espécies florestais do cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel**. Revista Ciência da Madeira, v.6, n.2, p.88-93. 2015.

BOTOSSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. *Mikrokosmos*, v. 61, n. 8, p. 255, 1972.

D'AGOSTINI, S.; BACILIERI, S.; VITIELLO, N.; HOJO, H.; BILYNSKYJ, M. C. V.; BATISTA FILHO, A.; REBOUÇAS, M. M. Ciclo econômico da borracha – seringueira *Hevea brasiliensis* (HBK) M. Arg. **Instituto de Biologia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 6–14, jan./jun. 2013.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

IAWA, C. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal*, v. 101, n. 10, p. 219-232, 1989.

KAMALA, B. S., & RAO, P. V. K. **Physical and mechanical properties of Hevea brasiliensis (rubber wood) – a review**. Rubber Board Bulletin, 25, 27-28, 1989.

PURVIS, M. J.; COLLIER, D. C.; WALLS, D. **Laboratory techniques in botany**. 1. ed. London: Butterworths, 1964.

SILVA, A. C. L. et al. **Indução da calogênese em segmentos foliares de seringueira (*Hevea* spp.) na Amazônia Sul-Occidental**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e17410917639, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17639>>. Acesso em: 10 maio 2025.

ZANCHETTA, L. S. **A anatomia influencia na resistência mecânica da madeira de quatro espécies de um sistema agroflorestal**. 2021. 18f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS EM DEZ ESPÉCIES DE MADEIRAS AMAZÔNICAS

Ana Laura Santana da Silva^{1*}; Eduardo de Souza Mafra²; Lucas da Costa Fonseca³; Ana Júlia Santos Brito⁴; Tatiana Damasceno Ramires⁵

¹ Universidade do Estado do Amazonas, Brasil.

² Universidade do Estado do Amazonas, Brasil.

³ Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

⁵ Universidade do Estado do Amazonas, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): amazonflora.alss@gmail.com

Resumo: A madeira é um dos materiais mais utilizados pelo homem devido sua grande heterogeneidade, suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Quando se visa o uso energético de resíduos de madeira, algumas características são fundamentais, dentre elas o teor de cinzas. Entretanto, os dados quantitativos sobre a composição química das espécies tropicais brasileiras são escassos na literatura. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi quantificar o teor de cinzas presente no lenho de 10 espécies de madeiras amazônicas. Foram selecionadas amostras de 10 espécies de madeiras que são exploradas pela empresa Mil Madeiras Preciosas. O teor de cinzas foi determinado pela Norma ASTM D1102-84 (2007), usando cadinhos de porcelana para calcinação das amostras em mufla à temperatura de 580~600°C. Os teores de cinzas encontrados em todas as espécies estão entre os valores considerados como normais para espécies tropicais. Das espécies estudadas apenas a jarana (*Holopyxidium jarana*) e o taxi amarelo (*Sclerolobium paniculatum*) não tiveram suas identificações prévias confirmadas pela análise macroscópica realizada em laboratório. Tais espécies foram identificadas neste estudo como sendo jutaí café (*Dialium guianense*) e taxi preto (*Tachigali myrmecophila*). Apesar dos teores de cinzas encontrados em todas as espécies estarem entre os valores aceitáveis para espécies tropicais, as espécies preciosa (*Aniba canelilla*), louro itaúba (*Mezilaurus itauba*) e jutaí pororoca (*Martiodendron elatum*) apresentaram teores acima de 1,50% não sendo, portanto, recomendado o seu uso para a produção de carvão vegetal.

Palavras chave: Aproveitamento de resíduos; Análise macroscópica; Madeiras tropicais e Amazônia.

DETERMINATION OF ASH CONTENT IN TEN SPECIES OF AMAZONIAN WOOD

Abstract: Wood is one of the most widely used materials by humans due to its great heterogeneity, due to its physical, chemical and mechanical properties. When aiming at the energy use of wood residues, some characteristics are fundamental, among them the ash content. However, quantitative data on the chemical composition of Brazilian tropical species are scarce in the literature. In this sense, the objective of this study was to quantify the ash content present in the wood of 10 Amazonian wood species. Samples of 10 wood species that are exploited by the company Mil Madeiras Preciosas were selected. The ash content was determined by the ASTM D1102-84 (2007) standard, using porcelain crucibles for calcining the samples in a muffle furnace at a temperature of 580~600°C. The ash contents found in all species are among the values considered normal for tropical species. Of the species studied, only jarana (*Holopyxidium jarana*) and yellow taxi (*Sclerolobium paniculatum*) did not have their previous identifications confirmed by macroscopic analysis performed in the laboratory. These species were identified in this study as coffee jutaí (*Dialium guianense*) and black taxi (*Tachigali myrmecophila*). Although the ash contents found in all species are within the acceptable values for tropical species, the species precious (*Aniba canelilla*), itaúba laurel

(*Mezilaurus itauba*) and pororoca jutaí (*Martiodendron elatum*) presented contents above 1.50% and, therefore, their use for the production of charcoal is not recommended.

Keywords: Waste utilization; Macroscopic analysis; Tropical woods and the Amazon.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais utilizados pelo homem tanto por sua grande variabilidade, como por suas propriedades físicas e mecânicas, além de suas características estéticas (BARREIROS, 2016). Além disso, a madeira possui grande valor devido às diversas formas de uso como: material de construção, fonte de energia e matéria-prima para a fabricação de diversos artigos indispensáveis à vida humana (SANTOS; VAREJÃO; NASCIMENTO, 2007).

A disponibilidade desse potencial esbarra na escassez de resultados de pesquisas tecnológicas, uma vez que a maioria das espécies florestais da Amazônia ainda não tem suas propriedades tecnológicas definidas (AGUIAR, 2004). Dessa forma, o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira de diferentes espécies é fundamental para a correta utilização em processos produtivos (BARREIROS, 2016), além disso, a determinação dos constituintes químicos da madeira é de extrema importância para identificar as características de cada espécie e sua devida aplicabilidade (OLIVEIRA; VAREJÃO; CRUZ, 2013).

Entretanto, os dados específicos sobre a composição química quantitativa das espécies tropicais brasileiras são escassos na literatura. As informações disponíveis, geralmente na forma de porcentagens de extrativos, cinzas e lignina, referem-se a um número limitado de espécies. Para a maioria das espécies tropicais, especialmente aquelas menos estudadas, ainda não há uma quantificação consistente desses compostos (SANTANA; OKINO, 2007). A existência desses constituintes na madeira depende das condições ambientais sob as quais a árvore cresce e da localização do mineral na planta. Eles compreendem principalmente: potássio e cálcio, que compõem até 50% dos cátions na cinza da madeira (SANTOS; VAREJÃO; NASCIMENTO, 2007). Diante disso, este estudo teve como objetivo realizar a identificação macroscópica de dez espécies de madeiras amazônicas e, posteriormente, quantificar o teor de cinzas presente em seus lenhos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo o material utilizado foram amostras (cunhas de disco) de 10 espécies de madeiras (Tabela 1) que são exploradas em regime de Manejo Florestal Sustentável pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda., localizada no município de Itacoatiara/Amazonas à 250 quilômetros a leste de Manaus, Brasil.

As amostras doadas pela empresa continham etiqueta de identificação contendo nomes científico e vulgar, foram transportadas até o Laboratório de Química da Madeira do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, onde ficaram armazenadas.

Tabela 3: Identificação prévia das espécies doadas pela empresa Mil Madeiras Preciosas por nome vulgar e científico.

Espécie	Nome Vulgar	Nome Científico
1	Jarana	<i>Holopyxidium jarana</i>
2	Piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>
3	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>
4	Sucupira preta	<i>Diploptropis racemosa</i>

5	Preciosa	<i>Aniba canelilla</i>
6	Louro chumbo	<i>Licaria canella</i>
7	Jutaí pororoca	<i>Martiodendron elatum</i>
8	Louro preto	<i>Ocotea neesiana</i>
9	Loura itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>
10	Taxi amarelo	<i>Sclerolobium paniculatum</i>

As amostras em formato de cunha continham casca e medula. Cada uma delas recebeu um corte longitudinal, de modo a reduzir suas espessuras praticamente à metade, resultando em duas fatias. Para tanto, utilizou-se uma serra circular de bancada da oficina escola de marcenaria do Centro de Educação Tecnológica do Amazonas – CETAM de Itacoatiara. Uma fatia foi usada para os estudos anatômicos, via análise macroscópica, e a outra para os ensaios de cinza.

Após serem cortadas, as amostras foram transportadas para o laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira – LEAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em Manaus, onde tiveram suas dimensões reduzidas utilizando uma serra de fita e, em seguida, transformadas em serragem utilizando um moinho de facas do Laboratório de Celulose e Papel, também localizado no INPA. Posteriormente, a identificação anatômica das amostras foi realizada com o auxílio de uma lupa de 10x e, para tanto, adotou-se a terminologia constante da literatura (IAWA, 1989)

Para a determinação do teor de umidade usou-se o método da secagem em estufa de laboratório definido pela norma ABNT NBR 7190 (1997), realizado no laboratório de química da madeira do INPA. O método consiste em calcular o teor de umidade de amostras que tenham sido secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante. O teor de umidade é dado pela relação entre a massa de água contida numa determinada amostra de madeira e a sua massa seca, expressa em porcentagem.

Inicialmente, as amostras, contendo 1 g de serragem, foram pesadas em balança analítica e colocadas para secar em estufa de laboratório. Os teores de umidade foram obtidos com uso da Equação 1.

$$TU = (m_u - m_s) / m_s \times 100 (\%) \quad (1)$$

Em que: TU – Teor de umidade (%); e m_u – Massa da amostra úmida (g); e m_s – Massa da amostra seca em estufa (g).

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ASTM D1102-84 (2007), e foi realizado no laboratório de química da madeira do INPA. Para calcinação das amostras, foram utilizados cadinhos de porcelana em forno mufla, à temperatura de 580 a 600°C . O teor de cinzas foi obtido pela relação entre o peso da cinza obtida na calcinação e a massa da amostra seca em estufa, expressa em porcentagem, conforme descrito na Equação 2. As determinações dos teores de cinzas foram realizadas em duplicata.

$$C = m_c / m_s \times 100 (\%) \quad (2)$$

Em que: C = Teor de cinzas (%); e m_c = Massa de cinzas (g); e m_s = Massa de madeira seca (g)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as 10 espécies estudadas, somente duas não tiveram suas identificações prévias confirmadas (Tabela 2) pela análise macroscópica realizada em laboratório, a saber: jarana (*Holopyxidium jarana*), identificada pela análise macroscópica como sendo a espécie jutaí-café

(*Dialium guianense*) e taxi amarelo (*Sclerolobium paniculatum*) que pela análise macroscópica trata-se de taxi preto (*Tachigali myrmecophila*).

Segundo Zenid e Ceccantini (2012), isso se deve ao fato de que a identificação de madeiras por práticas populares pode ser realizada levando em conta somente as características organolépticas, que são, por natureza, variáveis e muitas vezes semelhantes entre espécies, ocasionando erros na identificação da espécie. A afirmação de Zenid e Ceccantini (2012) é relevante para explicar os equívocos de identificação observados neste estudo, uma vez que a identificação no campo, realizada pela Mil Madeiras Preciosas, é realizada por parabolíticos que se utilizam das características organolépticas, que por vezes podem ser confundidas.

Tabela 2: Identificação das espécies fornecida pela empresa e identificação macroscópica.

Identificação da Mil Madeiras	Identificação INPA	Família
Jarana	Jutaí café (<i>Dialium guianense</i>)	Fabaceae
Piquiarana	Piquiarana (<i>Caryocar glabrum</i>)	Caryocaraceae,
Cupiúba	Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>)	Celastraceae
Sucupira Preta	Sucupira preta (<i>Diploptropis racemosa</i>)	Fabaceae
Preciosa	Preciosa (<i>Aniba canelilla</i>)	Lauraceae
Louro chumbo	Louro chumbo (<i>Licaria canella</i>)	Lauraceae
Jutaí	Jutaí pororoca (<i>Martiodendron elatum</i>)	Fabaceae
Louro Preto	Louro preto (<i>Ocotea neesiana</i>)	Lauraceae
Louro Itaúba	Louro itaúba (<i>Mezilaurus itauba</i>)	Lauraceae
Taxi amarelo	Taxi preto (<i>Tachigali myrmecophila</i>)	Leguminosae

O teor de umidade variou de 5,2 a 11,1 % (Tabela 3).

Tabela 4. Teores de umidade e de cinzas das espécies estudadas.

Espécies	Umidade (%)
Jutaí café (<i>Dialium guianense</i>)	9,8
Piquiarana (<i>Caryocar glabrum</i>)	7,9
Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>)	6,9
Sucupira preta (<i>Diploptropis racemosa</i>)	8,6
Preciosa (<i>Aniba canelilla</i>)	9,7
Louro chumbo (<i>Licaria canella</i>)	10,9
Jutaí pororoca (<i>Martiodendron elatum</i>)	8,4
Louro preto (<i>Ocotea neesiana</i>)	8,5
Louro itaúba (<i>Mezilaurus itauba</i>)	5,2
Taxi preto (<i>Tachigali myrmecophila</i>)	11,1

O teor de cinzas variou de 0,22 a 4,03 %. Os resultados encontrados para preciosa (*Aniba canelilla*) e louro itaúba (*Mezilaurus itauba*) apresentaram os maiores valores médios para os teores de cinza de 4,03 e 3,43%, respectivamente, os quais diferiram pouco entre si. O louro chumbo (*Licaria canella*) e o taxi preto (*Tachigali myrmecophila*) apresentaram os menores valores de 0,22 e 0,31%, respectivamente. Basso (2017), encontrou valores entre 1,17 e 2,52% para os teores de cinzas analisando espécies do gênero *Eucalyptus*. Santos (2010) estudando as espécies de *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla* encontrou valores médios entre 0,5 e 1,6%. Contudo, Souza (2007), estudando madeiras tropicais encontrou valores para cinza que variaram de 0,2% para *Duckeodendron cestroides* Kuhl e 1,8% para *Qualea Vochisiacea*.

Tabela 4: Teores de umidade e de cinzas das espécies estudadas.

Espécies	Cinza (%)
Jutaí café (<i>Dialium guianense</i>)	0,65
Piquiarana (<i>Caryocar glabrum</i>)	0,54
Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>)	0,45
Sucupira preta (<i>Diplotropis racemosa</i>)	0,40
Preciosa (<i>Aniba canelilla</i>)	4,03
Louro chumbo (<i>Licaria canella</i>)	0,22
Jutaí pororoca (<i>Martiodendron elatum</i>)	3,36
Louro preto (<i>Ocotea neesiana</i>)	0,34
Louro itaúba (<i>Mezilaurus itauba</i>)	3,43
Taxi preto (<i>Tachigali myrmecophila</i>)	0,31

4. CONCLUSÃO

As espécies jarana (*Holopyxidium jarana*) e taxi amarelo (*Sclerolobium paniculatum*) não tiveram suas identificações prévias confirmadas pela análise macroscópica realizada em laboratório. Tais espécies foram identificadas neste estudo como sendo jutaí café (*Dialium guianense*) e taxi preto (*Tachigali myrmecophila*).

Os teores de cinzas encontrados em todas as espécies estão entre os valores aceitáveis para espécies tropicais, porém as espécies preciosa (*Aniba canelilla*), louro itaúba (*Mezilaurus itauba*) e jutaí pororoca (*Martiodendron elatum*) apresentaram teores acima de 1,50% não sendo, portanto, recomendado o seu uso para a produção de carvão vegetal.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997

AGUIAR, O. C. Identificação e catalogação de espécies florestais para uso de recomposição de áreas degradadas na zona de transição entre os biomas cerrado e floresta amazônica. In: **Congresso Nacional de Botânica**, 54. Goiânia, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1102-84: Standard Test Method for Ash in Wood. Philadelphia, 2007.

BARREIROS, J. L. **Efeito de pré-tratamentos em algumas propriedades tecnológicas da madeira de maçaranduba (*Manilkara huberi*)**. Itacoatiara: UEA, 2016. Monografia (Graduação Engenharia Florestal). Itacoatiara: Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas, 2016.

BASSO, S. **Análise do carvão vegetal para uso doméstico**. Ponta Grossa: UTFPR, 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. IAWA. Lent of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 220-359, 1989.

SOUZA, J. U. B. R. **Técnicas multivariadas na análise química de espécies florestais amazônicas**. CUIABÁ: UFMT, 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2017.

OLIVEIRA, H. A.; VAREJÃO, M. J. C.; CRUZ, I. A. **Determinação de constituintes químicos e extrativos das madeiras de espécies florestais Amazônicas.** In: Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPQ - PAIC/FAPEAM, 2, Manaus, 2013.

SANTANA, M. A. E; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung.** Berlin, v.61, n.5, p.469-477, 2007.

SANTOS, P. O.; VAREJÃO, M. J. C.; NASCIMENTO C. C. Detecção do teor de cinzas e sílicas em materiais lignocelulósicos. **Congresso da Jornada de Iniciação Científica Pibic Cnpq/Fapeam/Inpa.** Manaus. 2008.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto.** Lavras: UFLA, 2010. Tese (Doutorado Ciência e Tecnologia da Madeira). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

SOUZA, S. S.; VAREJÃO, M. J. C.; NASCIMENTO, C. C. Avaliação do teor de cinzas e sílica em espécies madeireiras. **XVI Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA.** Manaus, 2007.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. **Identificação macroscópica de madeiras.** São Paulo 2012.

RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE EM PAINÉIS DE PARTÍCULAS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE PINUS E ERVA-MATE

Amanda de Freitas Corrêa¹; Mariana Figueira Machado¹; Marina Hartungs Prates de Lima¹; Merielen de Carvalho Lopes¹; Érika da Silva Ferreira¹

¹ Centro de Engenharias - CEng, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

¹ amanda.f.c-2011@hotmail.com

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da superfície de painéis de partículas produzidos com madeira de *Pinus* sp. e resíduo lignocelulósico de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire). As amostras utilizadas foram painéis de média densidade, incluindo tratamentos testemunhas (sem acabamento). Inicialmente, foram selecionadas as amostras e definidas as granas de lixas (80, 100, 120 e 180) para o processo de usinagem. O lixamento foi realizado conforme a sequência estabelecida anteriormente e após cada etapa, foram realizadas as leituras do perfil de rugosidade com o rugosímetro. Cada amostra foi dividida em quatro quadrantes, totalizando quatro leituras por tratamento, e os dados obtidos foram submetidos à análise estatística. Como resultado, observou-se que, nos painéis de *Pinus* sp., a superfície mais uniforme foi a sem lixamento, enquanto a melhor usinagem foi obtida com a lixa de grana 100. Entretanto, para os painéis de erva-mate, os melhores resultados foram observados com as granas 100 e 180. Comparando os dois materiais, os painéis de erva-mate apresentaram desempenho superior, destacando-se com a usinagem feita com lixa de grana 100. Conclui-se que o uso de resíduos lignocelulósicos, como a erva-mate, é promissor para a produção de painéis com uma qualidade de superfície satisfatória.

Palavras chave: Chapas; Materiais Lignocelulósicos; Rugosímetro.

SURFACE ROUGHNESS OF PARTICLE PANELS MANUFACTURED WITH PINUS WOOD AND YERBA MATE RESIDUE

Abstract: This study aimed to evaluate the surface quality of particle boards produced with *Pinus* sp. wood and lignocellulosic residue from yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire). The samples used were medium-density panels, including control treatments (without finishing). Initially, the samples were selected and the sandpaper grits (80, 100, 120 and 180) for the machining process were defined. Sanding was performed according to the previously established sequence and after each step, the roughness profile readings were taken with the rugosimeter. Each sample was divided into four quadrants, totaling four readings per treatment, and the data obtained were subjected to statistical analysis. As a result, it was observed that, in the *Pinus* sp. panels, the most uniform surface was the one without sanding, while the best machining was obtained with 100-grit sandpaper. However, for the yerba mate panels, the best results were observed with 100 and 180 grits. Comparing the two materials, the yerba mate panels presented superior performance, standing out with the machining done with 100-grit sandpaper. It is concluded that the use of lignocellulosic residues, such as yerba mate, is promising for the production of panels with a satisfactory surface quality.

Keywords: Board; Lignocellulosic Materials; Rugosimeter.

1. INTRODUÇÃO

Resíduos lignocelulósicos são materiais de origem vegetal compostos principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Eles são gerados em grandes quantidades por atividades agrícolas, florestais e industriais, como o processamento de madeira e a produção de açúcar e etanol. Por serem abundantes, renováveis e de baixo custo, esses resíduos têm sido utilizados como matéria-prima alternativa na produção de painéis aglomerados, contribuindo para a redução de impactos ambientais e agregando valor a subprodutos anteriormente descartados (GARZÓN BARRERO *et al.*, 2015).

De acordo com Iwakiri e Trianoski, (2020), os painéis de partículas, como o MDP (*Medium Density Particleboard*) e os painéis aglomerados, são amplamente utilizados como acabamentos de interiores e na fabricação de pisos e móveis. Esses materiais são obtidos pela união de partículas de madeira com resina, sob condições controladas de calor e pressão. Diante disso, torna-se fundamental que o processo produtivo inclua etapas adequadas de lixamento e um rigoroso controle de qualidade. A geometria das partículas, a correta aplicação da resina e a qualidade da superfície são fatores determinantes para o desempenho do produto final, especialmente na etapa de acabamento.

Siqueira *et al.*, (2003) comenta que a qualidade da superfície é um parâmetro essencial na avaliação de painéis aglomerados, pois influencia diretamente o desempenho durante o processo de usinagem. O contato da ferramenta com a peça de madeira pode gerar deformações conhecidas como sulcos, resultando em superfícies irregulares que comprometem o acabamento e prejudicam a aderência de revestimentos. Para essa verificação, diferentes métodos são empregados, sendo os mais utilizados a colorimetria, a análise de imagens técnicas com câmeras ópticas e de vídeo, além do rugosímetro de agulha.

Conforme a ABNT NBR ISO 4287 (2002), os parâmetros geométricos obtidos a partir do perfil de rugosidade são classificados em três categorias: **Ra** (Desvio Aritmético Médio do Perfil Avaliado), que corresponde à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas, $Z(x)$; **Rq** (Desvio Médio Quadrático do Perfil Avaliado), que representa a raiz quadrada da média dos valores das ordenadas, $Z(x)$, ao longo do comprimento de amostragem; e **Rz** (Altura Máxima do Perfil), que é definido pela soma da altura máxima dos picos (Z_p) com a maior profundidade dos vales (Z_v) no comprimento da amostra.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da superfície de painéis de partículas produzidos com madeira de pinus e resíduo lignocelulósico e a influência do processo de lixamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo selecionou-se painéis de partícula caracterizados como de média densidade, constituídos de madeira de pinus (*Pinus* sp) e resíduo lignocelulósico de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire).

As amostras dos painéis de partículas possuem dimensões nominais de $70 \times 100 \times 8$ mm (largura, comprimento e espessura, respectivamente), densidade variando de 0,65 a 0,70 g/cm³, teor de umidade variando de 6,34 a 8,15% e 8% teor de resina ureia-formaldeído, conforme especificado por Lourenço Neto *et al.* (2017) e Ferreira *et al.* (2014; 2015).

As partículas de pinus, que deram origem aos painéis, foram geradas por meio da fragmentação em moinho de martelo com malha de 9 mm, exceto os resíduos de erva-mate, os quais, após o processo de secagem, foram classificados granulometricamente em peneiras de 10, 16 e 30 mesh, sendo utilizadas na fabricação dos painéis as partículas retidas nas malhas de 16 e 30 mesh.

Esse processo teve como objetivo padronizar o tamanho das partículas utilizadas na produção das chapas, com a retirada das frações *oversize* e dos finos.

Os tratamentos T1 ao T5 foram caracterizados pelo emprego da madeira de pinus, sendo: T1 (sem lixamento), T2 (lixa 80), T3 (lixa 80 e 100), T4 (lixa 80, 100 e 120) e T5 (lixa 80, 100, 120 e 180). Já os tratamentos T6 a T10 utilizaram resíduos de erva-mate, com as mesmas combinações de lixamento: T6 (sem lixamento), T7 (lixa 80), T8 (lixa 80 e 100), T9 (lixa 80, 100 e 120) e T10 (lixa 80, 100, 120 e 180).

A medição da rugosidade da superfície foi realizada ao final de cada tratamento, utilizando-se a mesma amostra em todas as etapas, de forma sequencial. Para garantir a uniformidade no lixamento, utilizou-se um suporte manual, que permitiu a aplicação de pressão constante sobre toda a superfície da amostra. A medição foi feita por meio de aparelhos de leitura de parâmetros, que utilizam uma ponta de diamante para percorrer a superfície da peça e captar suas irregularidades. Além disso, foi utilizado um equipamento com saída gráfica, composto por unidades eletrônicas acopladas a sistemas de registro, que fornecem o perfil ou a curva de rugosidade da superfície.

A determinação da rugosidade nas superfícies das amostras foi realizada com o auxílio de um rugosímetro portátil digital da marca Mitutoyo, modelo SJ-210 (178-561-02A). O ensaio seguiu as diretrizes da norma ABNT NBR ISO 4288 (2002), utilizando percurso de avaliação de 4 mm, velocidade de deslocamento de 0,5 mm/s, cut-off de 0,8 mm e λ_s (LS) de 2,5 μm . Foram analisadas quatro leituras para cada amostra, com a verificação dos parâmetros de rugosidade Ra, Rz e Rq.

Os dados referentes aos parâmetros Ra, Rq e Rz foram submetidos à análise de variância multifatorial (MANOVA), na qual se avaliou a interação entre os fatores e seus efeitos isolados. Quando observada significância estatística, foi aplicado o teste de médias de *Tukey*, com nível de confiança de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos por meio da análise da superfície, como os valores média das leituras realizadas nos quatro quadrantes de cada amostra, para os parâmetros Ra, Rq e Rz determinado no perfil de rugosidade dos painéis de média densidade produzidos com diferentes materiais: madeira de *Pinus* sp., erva-mate e tipos de lixas utilizadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Comparação das médias dos parâmetros de rugosidade (Ra, Rz e Rq) nos diferentes tratamentos de lixamento aplicados às amostras

Tratamentos	Ra (μm)	Rz (μm)	Rq (μm)
T1 – <i>Pinus</i> sp (sem lixa)	7,19ab	9,06abc	38,69ab
T2 – <i>Pinus</i> sp (lixa 80)	12,78c	16,25abc	70,25c
T3 – <i>Pinus</i> sp (lixa 100)	7,05ab	9,65abc	43,70ab
T4 – <i>Pinus</i> sp (lixa 120)	8,29abc	10,64bcd	44,86ab
T5 – <i>Pinus</i> sp (lixa 180)	9,13bc	12,26cd	52,71bc
T6 - Erva-mate (sem lixa)	7,19ab	9,05d	38,69ab
T7 - Erva-mate (lixa 80)	5,73ab	7,60 abc	35,81ab
T8 - Erva-mate (lixa 100)	3,53a	4,66a	22,98a
T9 - Erva-mate (lixa 120)	6,06ab	7,76abc	33,92ab

T10 - Erva-mate (lixa 180) 4,05a 5,29ab 25,54a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância

Por meio da Tabela 2, é possível observar os dados da análise de superfície dos painéis de *Pinus* sp. Onde nota-se que os tratamentos T1 (sem lixa) e T3 (lixa 100) apresentaram valores médios dos parâmetros Ra, Rz e Rq estatisticamente semelhantes, indicando uma qualidade de acabamento equivalente. Isso sugere que o lixamento com lixa 100 não proporcionou melhora significativa na rugosidade em comparação à superfície sem lixamento, possivelmente devido à variação na geometria das partículas, o que favoreceu uma distribuição mais homogênea no colchão de partículas e, conseqüentemente, menos lacunas visíveis.

Já o tratamento T2 (lixa 80) apresentou os maiores valores de rugosidade (Ra, Rz e Rq), indicando uma superfície mais áspera, o que pode estar relacionado ao desgaste superior da lixa de grana mais grossa.

Em relação aos painéis de erva-mate, o tratamento T8 (lixa 100) apresentou os menores valores de rugosidade em todos os parâmetros, destacando-se estatisticamente dos demais. Isso pode ser atribuído à composição da erva-mate, formada por folhas e fragmentos de caule, o que favorece uma melhor compactação e distribuição das partículas, resultando em uma superfície mais homogênea. Além disso, os tratamentos T10 (lixa 180) e T8 não apresentaram diferença significativa entre si para os parâmetros Ra e Rq, mas ainda assim mostraram os melhores resultados médios. Os tratamentos T7 (lixa 80) e T9 (lixa 120) também não diferiram estatisticamente, ficando intermediários.

Pode-se observar na tabela 3, os valores médios para os parâmetros Ra, Rq e Rz, determinados no perfil de rugosidade de cada painel comparando-os entre eles, verificando o melhor desempenho dentre os tipos de lixas empregadas.

Tabela 3: Valores médios para os parâmetros Ra, Rq e Rz determinados no perfil de rugosidade para cada efeito avaliado

Tratamento	Ra (µm)	Rq (µm)	Rz (µm)
Material			
<i>Pinus</i> sp	8,88b	11,57b	50,04b
Erva-mate	5,31a	6,87a	31,39a
Grana de Lixa			
sem lixa	7,19ab	9,06ab	38,69ab
lixa 80	9,25b	11,92b	53,03b
lixa 100	5,29a	7,16a	33,34a
lixa 120	7,17ab	9,20ab	39,39ab
lixa 180	6,59ab	8,78ab	39,12ab

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância.

Ao analisar a Tabela 3, observa-se que, para os parâmetros Ra, Rq e Rz, os painéis produzidos com erva-mate apresentaram os menores valores médios de rugosidade, destacando-se estatisticamente em relação aos painéis de *Pinus* sp, indicando um melhor acabamento superficial para a erva-mate.

Quanto à influência da grana da lixa, o tratamento com lixa 100 proporcionou o melhor resultado, com os menores valores médios entre as lixas avaliadas, indicando uma superfície mais nivelada e homogênea. As condições sem lixamento e com lixas de grana 120 e 180 apresentaram

resultados intermediários e sem diferença estatística significativa entre si. Já a lixa 80 mostrou os maiores valores de rugosidade, sendo considerada a menos eficiente para melhorar o acabamento.

4. CONCLUSÃO

Verificou-se que o tipo de material tem influência significativa nos parâmetros de rugosidade, o painel produzido com resíduo lignocelulósico (erva-mate) apresentaram valores médios para os parâmetros Ra, Rq e Rz satisfatórios, com uma superfície mais uniforme, comparando com os dados observados com os painéis com a madeira de *Pinus sp.* A utilização da lixa de grana 100 resultou na melhor uniformidade da superfície para ambos os painéis, enquanto a lixa 80 gerou superfícies mais ásperas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 4287:**

Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Brasil, 2002.

BARRERO, N. J. G. **Estudo da durabilidade de painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação na construção civil.** 2015. 230f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2015.

LOURENÇO NETO, G. R.; FERREIRA, E. S.; LOPES, M. C.; CARDOSO, G. V.; OLIVEIRA, L. S.; SCHMITZ, V. N.; KOCCHIER, P. V. **Propriedades tecnológicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos.** III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira III CBCTEM. **Anais . . .** 2017, Florianópolis, SC.

FERREIRA, E. S.; FURLAN, L.; OLIVEIRA, M. P.; PERLEBERG, T. D.; LOURENÇO NETO, G. R.; SCHMITZ, V. N.; KOCCHIER, P. V. **Painéis Decorativos Produzidos com Resíduos Lignocelulósicos**”. Chamada CNPq/VALE S.A. Nº 05/2012 – Forma-Engenharia. Processo: 455645/2012-4. 21p. Pelotas, 2014. (Relatório Final).

FERREIRA, E. S.; PEDRAZZI, C.; ZANATTO, A. P.; CORREA, C. S.; SOUZA, T. R.; RODRIGUES, V. L.; SILVA, N. M.; MULLER, J. L. **Painéis Decorativos Produzidos com Resíduos Agrícolas. Relatório técnico de pesquisa.** CHAMADA PÚBLICA MCTI/CNPQ/SPMPR/PETROBRAS Nº 18/2013: Meninas e Jovens Fazendo Ciências Exatas, Engenharias e Computação. Processo: 420419/2013-6. 20p. Pelotas. 2015. (Relatório Final).

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída.** 2 ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 2020, 259p.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSCO, A. R. G.; GUIMARÃES NETO, A. B.; BONDUELLE, A. Principais metodologias de mediação de estado de superfícies. **Revista Ciências Exatas e Naturais.** v. 5, n.2, p. 204-210, 2003.

RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS FIOS DE MICROFIBRILAS DE CELULOSE REFORÇADOS COM AMIDO CATIÔNICO E ÁLCOOL POLIVINÍLICO

Flávio Rodrigues Lima ¹, Jair Rogério Colares Neto ¹, Danillo Whisky Silva ² Michel Picanço Oliveira ¹ e Jordão Cabral Moulin ^{1*}

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

²Klabin – Technology Center, Industrial Research Development and Innovation, Fazenda Monte Alegre, St Harmonia, 03, 84275-000 Telêmaco Borba, PR, Brazil.

*Autor correspondente (e-mail): jordao.moulin@ufes.com

Resumo: Buscando ampliar as possibilidades de aplicação das nanofibrilas de celulose (NFC), a produção de fios vem ganhando espaço com potencial aplicação industrial. Este trabalho explorou a fabricação de fios de NFC, usando o amido catiônico (AC) e álcool polivinílico (PVA) como reforços, e o alginato de sódio como matriz. Foram utilizadas NFC de *Eucalyptus* sp., branqueadas e não branqueadas (4,5% m/m), com AC (3% m/m) e PVA (2% m/m) em matriz de alginato de sódio (2% m/m) como agente coagulante, usando o processo de fiação úmida com cloreto de cálcio como solvente. Foram realizadas análises de resistência mecânica para os fios. Os resultados indicam que a adição de AC e PVA melhoraram as propriedades dos fios. A resistência à tração aumentou de 30 MPa para 60 MPa (AC) e para 50 MPa (PVA). O módulo de elasticidade aumentou de 2 GPa para 4 GPa (AC) e para 3,5 GPa (PVA). Conclui-se que a combinação de NFC com AC e PVA melhora as propriedades dos filamentos.

Palavras-chave: Filamento, nanocelulose, reforços químicos.

MECHANICAL RESISTANCE OF CELLULOSE MICROFIBRIL FILAMENTS REINFORCED WITH CATIONIC STARCH AND POLYVINYL ALCOHOL

Abstract: Seeking to expand the application possibilities of cellulose nanofibrils (CNF), the production of filaments has been gaining ground with potential industrial applications. This study explored the fabrication of CNF filaments using cationic starch (CS) and polyvinyl alcohol (PVA) as reinforcements, and sodium alginate as the matrix. CNFs from *Eucalyptus* sp. were used, both bleached and unbleached (4.5% w/w), with CS (3% w/w) and PVA (2% w/w) in a sodium alginate matrix (2% w/w) acting as the coagulating agent, using the wet spinning process with calcium chloride as the solvent. Mechanical resistance tests were conducted on the filaments. The results indicate that the addition of CS and PVA improved the properties of the filaments. Tensile strength increased from 30 MPa to 60 MPa (CS) and to 50 MPa (PVA). The elastic modulus increased from 2 GPa to 4 GPa (CS) and to 3.5 GPa (PVA). It is concluded that the combination of CNF with CS and PVA improves the properties of the filaments.

Keywords: Filament, Nanocellulose, Chemical reinforcements.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de materiais sustentáveis com menor impacto ecológico e provenientes de fontes renováveis. Nesse cenário, a celulose, o biopolímero mais abundante do planeta, destaca-se por suas características biodegradáveis, biocompatíveis e renováveis, além do seu potencial como base para a criação de biopolímeros de alto desempenho (BLANCO et al., 2018; WINTER et al., 2021).

A celulose, presente em diversas fontes vegetais, é amplamente utilizada na forma de nanofibrilas de celulose (NFC) resultando em materiais com propriedades excepcionais, como transparência óptica, alta resistência mecânica, baixo peso molecular, coeficiente de expansão térmica reduzido, estabilidade térmica e origem renovável o que a torna ideal para a produção de compósitos e estruturas funcionais, se destacado como materiais promissores para aplicações sustentáveis (KIM et al., 2019).

As NFC desempenham um papel importante na produção de fios avançados. Contudo, para viabilizar a produção desses fios, especialmente no processo de fiação úmida, é frequentemente necessário recorrer a aditivos químicos, sejam sintéticos ou naturais (SOUISSI et al., 2020). Um exemplo desse processo é a incorporação de alginato na produção de filamentos de NFC. Essa substância, quando combinada com NFC, confere características como: baixo peso molecular, alta resistência mecânica e maior coesão estrutural, ampliando suas aplicações potenciais (LUNDAHL et al., 2016).

Para viabilizar o processamento desses materiais, é comum a adição de aditivos como o álcool polivinílico (PVA) e o amido catiônico (CA), que melhoram a coesão estrutural e as propriedades mecânicas (SOUISSI et al., 2020). O PVA é um polímero sintético solúvel em água, conhecido por sua resistência química, estabilidade térmica e forte interação com outras moléculas por meio de ligações de hidrogênio (AFSHAR et al., 2020). Já o amido, um biopolímero natural amplamente disponível, contribui com suas propriedades de gelificação e viscosidade, promovendo flexibilidade e biodegradabilidade ao compósito (SARTOR et al., 2021).

A combinação sinérgica entre NFC, PVA e AC representa uma abordagem promissora para o desenvolvimento de materiais sustentáveis com aplicações em embalagens, filmes biodegradáveis e fibras têxteis (PETRY et al., 2023). Desde tempos antigos, fibras vegetais vêm sendo utilizadas na fabricação de diversos produtos, e atualmente a fiação de suspensões celulósicas de nanomateriais desponta como alternativa inovadora para a produção de fios com alto desempenho mecânico (GHASEMI et al., 2017). Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a influência da adição de PVA e AC, em diferentes concentrações, na resistência mecânica de fios produzidos com NFC, utilizando alginato de sódio como matriz, visando otimizar suas propriedades estruturais e funcionais para aplicações tecnológicas sustentáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

a. Obtenção dos materiais

Foram usadas nanofibrilas de celulose do tipo *standard* da empresa Klabin S.A., as quais foram produzidas por processamento mecânico da polpa kraft branqueada e não branqueada de *Eucalyptus* sp. Além disso, utilizou-se alginato de sódio (AG) da marca INLAB, álcool polivinílico (PVA) da marca NEON e amido catiônico (AM) fornecido pela Klabin S.A.

b. Preparo da mistura de NFC com alginato de sódio

A matriz polimérica foi montada com o alginato de sódio em concentração de 2% m/m e as NFC em concentração de 4,5% m/m. O amido catiônico foi usado na concentração 3% m/m e o PVA em 2% m/m. A concentração destes componentes de reforço foi definida a partir de pré-testes feitos em concentrações distintas que buscou a concentração que gerasse o fio com a maior resistência mecânica.

c. Produção dos fios

Foram produzidos fios de NFC branqueada e não branqueada com alginato de sódio, sendo adicionados para cada configuração o álcool polivinílico e o amido catiônico, resultando em seis diferentes fios, onde para cada configuração foram confeccionados 12 fios. O processo de fiação foi realizado por meio de um equipamento de fiação úmida, que consiste em um tubo de 3 m de comprimento, no qual os fios foram depositados continuamente em uma solução de cloreto de cálcio. A injeção do fio foi realizada por meio de um motor acionado por um inversor de frequência com controle de velocidade e sentido de rotação. A coagulação do fio ocorreu quando os materiais entraram em contato com o cloreto de cálcio. Em seguida, os fios foram retirados e conduzidos para secagem em estufa a 60°C durante o período de 4 horas.

d. Largura dos filamentos

As larguras dos foram mensuradas utilizando microscópio óptico, com aproximação de 50×. Foram analisadas as medidas do centro e das duas extremidades do fio, com comprimento de 30 cm, sendo obtidos valores referentes a espessura e largura do fio. Posteriormente, os mesmos fios foram submetidos a ensaios mecânicos

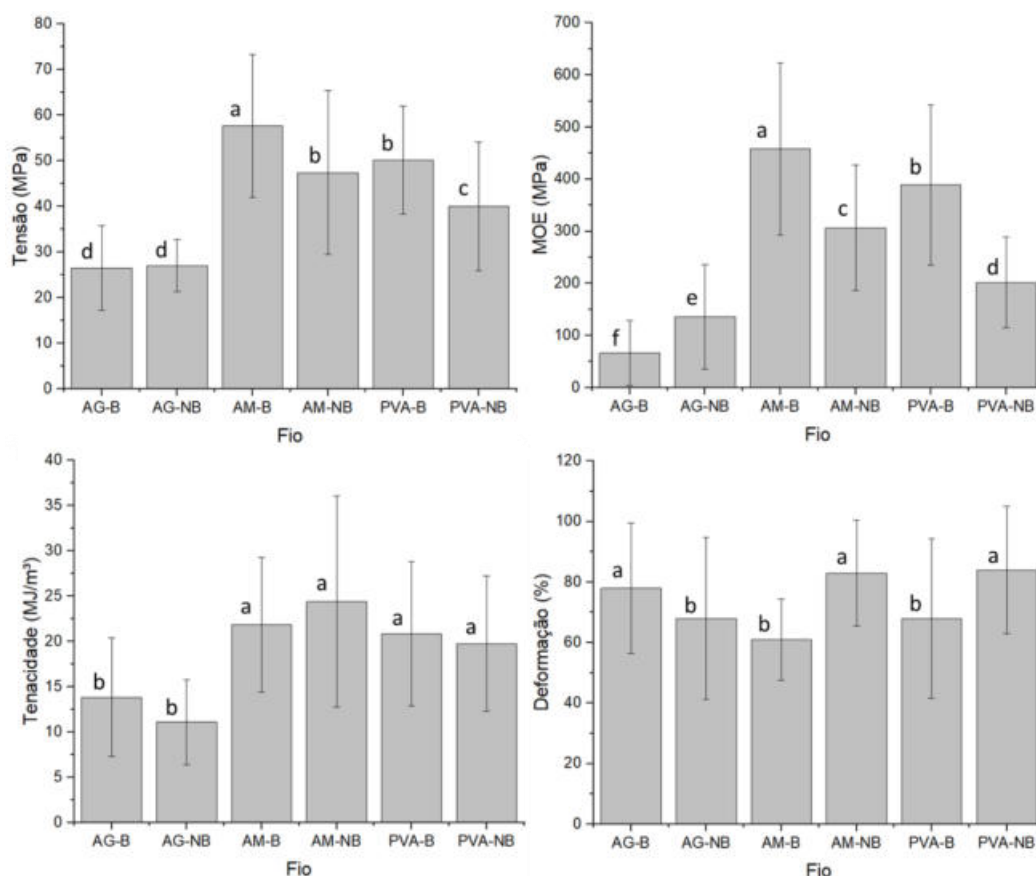
e. Ensaio mecânico

As propriedades mecânicas dos fios foram caracterizadas conforme a norma Standard Test Method (ASTM) D 2256 – 02 (2015), por meio do testador de tração aplicando uma célula de carga de 5 N na taxa de 0,3 N/min. O comprimento dos filamentos utilizados foi de 30 cm e utilizaram-se 12 fios de cada configuração, a seção tracionada foi de 30 mm. Foram utilizadas as dimensões obtidas na largura dos filamentos para o cálculo da resistência mecânica, uma vez que a área da seção transversal foi assumida ser circular.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**a. Propriedades mecânicas dos filamentos**

Os resultados das propriedades mecânicas dos fios são apresentados na Figura 1, com valores de resistência mecânica, módulo de elasticidade, deformação e tenacidade. Os fios de NFC não branqueada com o amido catiônico e o PVA apresentaram menor tensão e módulo de elasticidade (MOE) quando comparados aos fios com a MFC branqueada. A lignina é um material amorfo e colabora com redução da resistência mecânica do fio em detrimento da redução da cristalinidade (DHALI *et al.*, 2021), a lignina também dificulta as ligações entre as cadeias de celulose (AMINI *et al.*, 2020) e da celulose com o amido catiônico e o PVA. Em filmes de MFC de celulose também é encontrada menor resistência quando usada a NFC não branqueada em relação a branqueada (HORSEMAN *et al.*, 2017; AMINI *et al.*, 2020).

Figura 1: Propriedades mecânicas dos fios nas diferentes configurações.



Fonte: O autor.

A resistência de tensão, tenacidade e MOE dos fios aumentaram com a adição do amido catiônico e do PVA, a deformação do fio foi pouco afetada pela adição dos componentes químicos. O aumento da resistência do fio com PVA é devido aos grupos de hidroxilas disponíveis que permitem o aumento de ligações de hidrogênio entre a celulose e alginato de sódio (TAKENO *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2021).

Hidrogéis de nanocelulose reforçados com PVA também apresentaram melhorias na resistência mecânica (TAKENO *et al.*, 2020). O amido é convertido em amido catiônico em indústrias de celulose para aumentar os grupos de hidroxilas e assim melhorar a resistência do papel (HUBBE *et al.*, 2019), isto favoreceu o aumento da resistência do fio em função do aumento das ligações com a celulose e alginato de sódio. Nanocompósitos de nanocristais com amido catiônico também apresentaram melhorias na resistência mecânica devido a interação de ambos os materiais (VAEZI *et al.*, 2020).

O maior resultado de tensão foi de 60 MPa para o fio reforçado com amido catiônico, sendo o dobro do fio apenas de NFC e alginato de sódio. Contudo ainda é um valor abaixo dos fios comumente usados pela sociedade, como os de lã com 120 – 180 MPa (JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA e FANTILLI, 2020; SHERLIN e TARANGINI, 2023), seda com 500 – 740 MPa (GORE *et al.*, 2019) e algodão com 287 – 597 MPa (SHERLIN e TARANGINI, 2023).

4. CONCLUSÃO

A adição de AC e PVA promoveu melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos fios. Os resultados indicam que ambos os aditivos contribuem para o aumento da resistência à tração. Levando em consideração que os valores resistência a tração e modulo de elasticidade com AC foram superiores quando comparados com PVA. Portanto, este estudo promove o uso eficiente de recursos

naturais, impulsionando a inovação no desenvolvimento de materiais com melhores propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

AFSHAR, M. *et al.* Preparation and characterization of sodium alginate/polyvinyl alcohol hydrogel containing drug-loaded chitosan nanoparticles as a drug delivery system. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 56, p. 101530, 2020.

AMINI, E. *et al.* Cellulose and lignocellulose nanofibril suspensions and films: A comparison. **Carbohydrate Polymers**, v. 250, p. 117011, 2020.

ASTM COMMITTEE *et al.* Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method. **ASTM Designation: D2256-02, ASTM Standard on Textile Materials, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 2004.**

BLANCO, A.; MONTE, M. C.; CAMPANO, C.; BALEA, A.; MERAYO, N.; NEGRO, C. Nanocellulose for industrial use: cellulose nanofibers (CNF), cellulose nanocrystals (CNC), and bacterial cellulose (BC). In *Handbook of nanomaterials for industrial applications*, p. 74-126, 2018.

DHALI, K.; GHASEMLOU, M.; DAVER, F.; CASS, P.; ADHIKARI, B. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability. **Science of the Total Environment**, v. 775, p. 145871, 2021.

GORE, P. M.; KANDASUBRAMANIAN, B. Functionalized aramid fibers and composites for protective applications: a review. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 49, p. 16537-16563, 2018.

GHASEMI, S.; TAJVIDI, M.; BOUSFIELD, D. W.; GARDNER, D.J.; GRAMLICH W. M. Dry-spun neat cellulose nanofibril filaments: Influence of drying temperature and nanofibril structure on filament properties. **Polymers**, v. 9, n. 9, p. 1–13, 2017.

HORSEMAN, T.; TAJVIDI, M.; DIOP, C. I.; GARDNER, D. J. Preparation and property assessment of neat lignocellulose nanofibrils (LCNF) and their composite films. **Cellulose**, v. 24, p. 2455-2468, 2017.

HUBBE, Martin A.; AZIZIAN, Saeid; DOUVEN, Sigrid. Implications of apparent pseudo-second-order adsorption kinetics onto cellulosic materials: A review. **BioResources**, v. 14, n. 3, 2019.

JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA, D.; FANTILLI, A. P. Wool-reinforced cement based composites. **Materials**, v. 13, n. 16, p. 3590, 2020.

KIM, H. C. *et al.* Effect of Wet Spinning and Stretching to Enhance Mechanical Properties of Cellulose Nanofiber Filament. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, v. 6, n. 3, p. 567–575, 2019.

LUNDAHL, M. J. *et al.* Strength and water interactions of cellulose I filaments wet-spun from cellulose nanofibril hydrogels. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.

PETRY, J. M. *et al.* **Efeito da concentração de plastificante em revestimentos comestíveis à base de blendas de poli (álcool vinílico)(PVA) e amido catiônico (CS).** 56 f. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2023.

SARTOR, D. Preparação de polímeros catiônicos orgânicos a partir do amido de milho e da fécula de batata para utilização no tratamento de água. 2021.

SHERLIN, H. S. N.; TARANGINI, K. A review on augmentation of natural fabric materials with novel bio/nanomaterials and their multifunctional perspectives. **Hybrid Advances**, v. 2, p. 100020, 2023.

SOUISSI, M.; KHIARI, R.; ZAAG, M.; MEKSI, N.; DHAOUADI, H. Effect of the morphology of polyesters filaments on their physical properties and dyeing performances. **Polymer Bulletin**, v. 78, p. 2685-2707, 2021.

TAKENO, H.; INOBUCHI, H.; HSIEH, Wen-Chuan. Mechanical and structural properties of cellulose nanofiber/poly (vinyl alcohol) hydrogels cross-linked by a freezing/thawing method and borax. **Cellulose**, v. 27, p. 4373-4387, 2020.

VAEZI, K; ASADPOUR, G; SHARIFI, S. H. Bio nanocomposites based on cationic starch reinforced with montmorillonite and cellulose nanocrystals: Fundamental properties and biodegradability study. **International journal of biological macromolecules**, v. 146, p. 374-386, 2020.

WINTER, A. *et al.* Reinforcement effect of pulp fines and microfibrillated cellulose in highly densified binderless paperboards. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, 2021.

ZHOU, P. *et al.* Melt-processed poly (vinyl alcohol)/corn starch/nanocellulose composites with improved mechanical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, p. 1903-1910, 2021.

EFEITO DE MÉTODOS DE SATURAÇÃO NO CÁLCULO DA DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS DE *Eucalyptus* spp.

Saulo José da Costa Lima¹; Kamilly da Silva Pereira¹; Felipe Gabriel dos Santos Araújo¹; Bruno Sangali Arantes¹; João Gabriel Missia da Silva¹; Graziela Baptista Vidaurre¹; Djeison Cesar Batista^{1*}

¹Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): djeison.batista@ufes.br

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de métodos de saturação na determinação da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus* spp. por dois métodos de cálculo distintos. Foram utilizados cavacos de três espécies (*E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* × *urophylla*), que foram saturados sob três diferentes métodos de saturação: i) Controle (M1) – método proposto pela NBR 11941 (aplicação apenas de vácuo); ii) M2 – adaptação da norma, com aplicação de vácuo, pressão e temperatura a 70 °C; iii) M3 – idem a M2, porém a 100 °C. Os métodos de cálculo consistiram no método da balança hidrostática (MBH) e do máximo teor de umidade (MMTU), ambas equações propostas pela NBR 11941. Os métodos alternativos de saturação não interferiram na densidade básica dos cavacos, independentemente da espécie analisada e do método de cálculo utilizado. Também não houve diferença entre os resultados de densidade básica obtidos por MBH e MMTU. Ambos os resultados foram positivos, pois reforçam a confiabilidade dos métodos de cálculo indicados pela NBR 11941, como possibilitam o uso de métodos alternativos (e mais rápidos) para a saturação dos cavacos durante a execução do ensaio de determinação da densidade básica.

Palavras-chave: NBR 11941; Método da balança hidrostática; Método do máximo teor de umidade.

EFFECT OF SATURATION METHODS ON THE CALCULATION OF BASIC DENSITY OF *Eucalyptus* spp. CHIPS

Abstract: This study aimed to evaluate the effect of saturation methods in determining the basic density of *Eucalyptus* spp. chips using two different calculation methods. Chips from three species (*E. grandis*, *E. urophylla* and *E. grandis* × *urophylla*) were used and saturated using three different saturation methods: i) Control (M1) – method proposed by NBR 11941 (vacuum application only); ii) M2 – adaptation of the standard, with application of vacuum, pressure and temperature at 70 °C; iii) M3 – same as M2, but at 100 °C. The calculation methods consisted of the hydrostatic balance method (MBH) and maximum moisture content (MMTU), both equations proposed by NBR 11941. The alternative saturation methods (M2 and M3) did not interfere with the basic density of the chips, regardless of the species analyzed and the calculation method used. There was also no difference between the basic density results obtained by MBH and MMTU. Both results were positive, as they reinforce the reliability of the calculation methods indicated by NBR 11941, as they allow the use of alternative (and faster) methods for chip saturation during the execution of the basic density determination test.

Keywords: NBR 11941; Hydrostatic balance method; Maximum moisture content method.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as propriedades utilizadas para o controle da qualidade da madeira, evidencia-se a densidade básica, por ser uma propriedade física norteadora do uso da madeira em diversos setores produtivos. Isso é muito relevante no setor de celulose, em que há um rigoroso controle da densidade básica da madeira porque ela influencia no rendimento de produção e, por conseguinte, nos custos (MORI *et al.*, 2004; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; COUTO *et al.*, 2012; DIAS *et al.*, 2018).

Atualmente, utiliza-se de uma variedade de métodos para a determinação da densidade básica da madeira. No entanto, em alguns casos, algumas dificuldades na obtenção do volume real das amostras são notadas, o que acaba tornando os métodos de medição por via direta pouco precisos (TRUGILHO *et al.*, 1990). Assim, a utilização de métodos indiretos de determinação do volume real da madeira é mais comum, destacando-se, nesses casos, os métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade (FOELKEL *et al.*, 1971).

A Norma Brasileira Regulamentadora 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) estabelece o processo de determinação da densidade básica da madeira, orientando-se que o processo de saturação das amostras em água. Indica-se a aplicação de vácuo em um recipiente vedado com o objetivo de estimular a saturação. Entretanto, empresas brasileiras do setor de celulose empregam métodos de saturação alternativos à NBR 11941, os quais são realizados com o intuito de acelerar o ensaio.

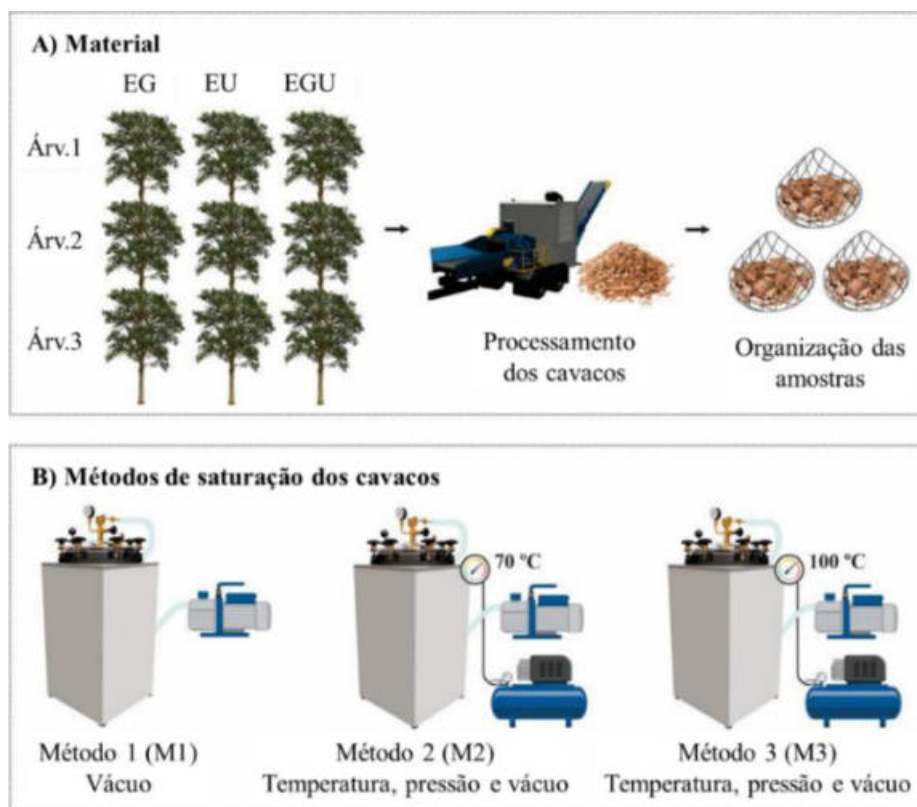
Segundo Arantes (2024), essas adaptações são adotadas por cada empresa individualmente e consistem basicamente no uso alternativo de níveis específicos de temperatura e pressão no processo de saturação, além da aplicação de vácuo já sugerida pela NBR 11941. Essa diferença de métodos expõe uma falta de consenso dentro do setor de celulose no Brasil, o que pode resultar em resultados equivocados de densidade básica da madeira e dificulta a comunicação entre fornecedores e consumidores de madeira, bem como entre as empresas e, mesmo, unidades de uma mesma empresa.

Assim, é consideravelmente importante atentar-se para os efeitos causados por métodos alternativos nos resultados de densidade básica da madeira. O objetivo deste estudo foi averiguar a influência de três métodos de saturação na determinação da densidade básica de cavacos de três espécies de *Eucalyptus* spp., utilizando-se dois métodos de cálculo distintos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados três clones operacionais de espécies relevantes para a indústria brasileira de celulose (*Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *Eucalyptus urophylla*), entre 81 e 88 meses. Foram coletadas três árvores médias por espécie (Figura 1A). As espécies foram escolhidas com base em resultados prévios de densidade básica, classificados qualitativamente em “baixa”, “média” e “alta” com o objetivo de avaliar uma maior amplitude representativa da densidade dos materiais utilizados pelas indústrias de celulose atualmente. A amostragem para a determinação da densidade básica foi feita em duplicata para cada árvore, resultando em um total de 18 réplicas para cada método de saturação proposto. A quantidade de cavacos para cada réplica foi de acordo com a NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Figura 1: Esquema da amostragem e dos métodos de saturação utilizados.



Legenda – Árv.: árvore; EG: *Eucalyptus grandis*; EU: *Eucalyptus urophylla*; EGU: *Eucalyptus grandis x urophylla*.

Foram testados três métodos de saturação, em que o Método 1 (M1) ou Controle se refere à NBR 11941, em que foi utilizado apenas vácuo como estimulador de saturação durante o período de imersão das amostras. Os Métodos 2 (M2) e 3 (M3) foram adaptações do Controle (M1), realizados com base nos parâmetros de saturação empregados por indústrias brasileiras de celulose (Figura 1B). Os métodos de saturação estão descritos de forma resumida na Tabela 1.

Durante a execução dos métodos de saturação, a massa das amostras foi monitorada todos os dias utilizando-se uma balança semianalítica digital (0,01 g) (Marte, AD3300, Brasil), até sua saturação completa, a qual é considerada, conforme a NBR 11941, quando a variação entre pesagens sucessivas é menor ou igual a 0,5 g. Após atingir massa constante, registrou-se a massa saturada e foi feita a imersão em água das amostras para a obtenção do volume saturado e posterior determinação da densidade básica pelos métodos do máximo teor de umidade – MMTU (Equação 1) e da balança hidrostática – MBH (ou de imersão, Equação 2).

Tabela 1: Métodos de saturação de cavacos de madeira.

Variáveis	Método 1 (M1)	Método 2 (M2)	Método 3 (M3)
Vácuo	Aplicação diária de 0,08 MPa durante 60 minutos	Aplicação de 0,08 MPa durante os 90 minutos iniciais.	Aplicação de 0,08 MPa durante os 90 minutos iniciais
Pressão	-	Aplicação constante de 0,15 MPa, a partir do 2º dia	Aplicação constante de 0,15 MPa, a partir do 2º dia
Temperatura	Ambiente	Aplicação apenas no 1º dia	Aplicação apenas no 1º dia (100 °C)

(70 °C)

Fonte: Adaptado ARANTES (2024).

$$DBMMTU = \frac{1}{\left(\frac{m1}{m2}\right) - 0,346} \quad (1)$$

Em que – DBMMTU: Densidade básica da madeira pelo método do máximo teor de umidade (kg m^{-3}); m1: Massa saturada da amostra (g); m2: Massa anidra da amostra (g).

$$DBMBH = \frac{m2}{(m4 - m3)} \quad (2)$$

Em que – DBMBH: Densidade básica da madeira pelo método da balança hidrostática (kg m^{-3}); m2: Massa anidra da amostra (g); m3: Massa do cesto imerso (g); m4: Massa da pesagem do conjunto imerso (cesto e cavacos) (g).

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente casualizado e o nível de significância adotado foi de até 5% de probabilidade para todos os testes. Para cada método de cálculo (MBH e MMTU), separadamente, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) em arranjo fatorial, em que se testou o efeito da combinação dos fatores espécie (três níveis) e método de saturação (três níveis) na densidade básica dos cavacos. Nos casos em que a hipótese nula foi rejeitada, foi utilizado o teste de Tukey para diferenciação das médias. Para cada espécie, separadamente, utilizou-se o teste t de Student (dados pareados) para a comparação das médias de densidade básica obtida pelos dois métodos de cálculo (MBH e MMTU).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados do Quadro 1, para ambos os métodos de cálculo (MBH e MMTU), o fator método de saturação não foi significativo na densidade básica, o que foi um resultado positivo, uma vez que os métodos M2 e M3, alternativos ao controle (M1), têm como objetivo reduzir o tempo de ensaio.

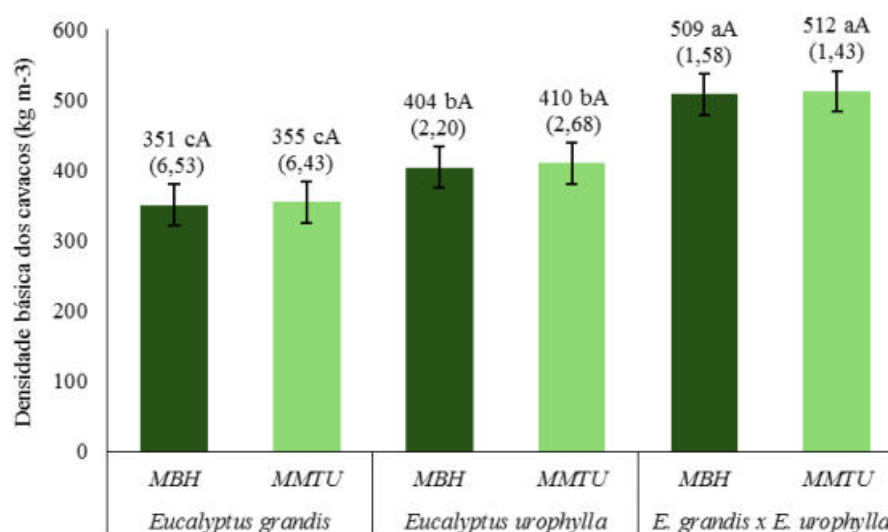
Também não houve interação significativa entre os fatores espécie e método de saturação. Apenas o fator espécie foi significativo, o que já se era esperado, com base no objetivo inicial da escolha dos materiais para o estudo. Assim, os resultados foram agrupados e testados por espécie (Figura 2).

Quadro 1. Resultados da análise de variância em arranjo fatorial.

Fonte de variação	Método de cálculo			
	Balança hidrostática (MBH)		Máximo teor de umidade (MMTU)	
	Fc	Valor-P	Fc	Valor-P
Espécie (A)	479,78	0,00*	485,33	0,00*
Método de saturação (B)	0,70	0,50 ^{ns}	2,22	0,12 ^{ns}
A x B	0,14	0,97 ^{ns}	0,06	0,99 ^{ns}

* e ^{ns}: respectivamente, significativo e não significativo a 5% de probabilidade.

As médias de densidade básica das espécies foram diferentes entre si, para ambos os métodos de cálculo, em que as menores e a maiores médias foram do *Eucalyptus grandis* e do *E. grandis* x *Eucalyptus urophylla*, respectivamente. Este resultado indica que o objetivo da amostragem do material foi atingido, uma vez que se buscou avaliar uma amplitude de densidades básicas representativa dos materiais processados pelas indústrias brasileiras de celulose atualmente.

Figura 2: Médias de densidade básica de cada espécie de acordo com os métodos de cálculo utilizados.

Legenda –MBH: método da balança hidrostática; MMTU: método do máximo teor de umidade. Letras minúsculas foram usadas para comparar as médias entre espécies para um mesmo método de cálculo (teste de Tukey). Letras maiúsculas foram usadas para comparar os diferentes métodos de cálculo dentro de uma espécie (teste t de Student). Médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (CV%). As médias referem-se a 18 repetições.

No que se refere aos métodos de cálculo da densidade básica, para todas as espécies, não houve diferença significativa entre o MBH e o MMTU. Em termos absolutos, houve uma tendência maiores médias de densidade básica obtidas no MMTU, na ordem de 1,1%, 1,5% e 0,6% para *E. grandis*, *E. urophylla* e *Eucalyptus grandis x urophylla*, respectivamente.

Foelkel *et al.* (1971) analisaram esses métodos de cálculo e concluíram que a diferença entre os resultados registrados não foi significativa, o que ajudou a embasar a NBR 11941. Os autores enfatizaram que a escolha de um método de cálculo ou outro dependerá, principalmente, da disponibilidade dos equipamentos necessários para o ensaio. Segundo Coelho (2021), o tipo de material avaliado também pode interferir na escolha do método de cálculo (discos, cunhas e cavacos).

De modo geral, ambos os métodos de cálculo são considerados precisos e seguros, preenchendo os requisitos necessários ao rigor técnico-científico. O MMTU, especificamente, é recomendado para a determinação da densidade básica em larga escala, visto sua facilidade de execução. Entretanto, aconselha-se um controle especial na absorção de água pela madeira, dada a necessidade de a amostra atingir a saturação completa.

4. CONCLUSÃO

Os métodos alternativos de saturação não interferiram na densidade básica dos cavacos, independentemente da espécie analisada e do método de cálculo utilizado. Também não houve diferença entre os resultados de densidade básica obtidos pelos métodos de cálculo da balança hidrostática e do máximo teor de umidade. Ambos os resultados foram positivos, pois reforçam a confiabilidade dos métodos de cálculo indicados pela NBR 11941, como possibilitam o uso de métodos alternativos (e mais rápidos) para a saturação dos cavacos durante a execução do ensaio de determinação da densidade básica.

REFERÊNCIAS

ARANTES, B. S. **A Densidade básica da madeira de Eucalipto é alterada pelo método de determinação, tempo de saturação e tipo de amostra?** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Densidade Básica da Madeira. Rio de Janeiro, 2003.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, 20(4), 665-674. 2010.

COELHO, M. U. **Impacto da densidade básica da madeira de Eucalyptus na eficiência dos processos de polpação kraft estendidos**. 2021. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* spp. **Floresta & Ambiente**, 19(2), 184-193, 2012.

DIAS, A. C. C.; MARCHESAN, R.; ALMEIDA, V. C.; MONTEIRO, T. C.; MORAES, C. B. Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. **Ciência da Madeira**, 9(1), 37-44. 2018.

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

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, 14(2), 123-132. 2004.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. D.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. D. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta amazônica**, 20, 307-319. 1990.

IMPACTO DA REMOÇÃO DOS EXTRATIVOS NOS RESÍDUOS MADEIREIROS DA AMAZÔNIA

Santos, P. L.¹; Corrêa, G. M.¹; Moreira, V. R.¹; Trugilho, P. F.¹; Protásio, T. P.¹

¹Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras, Brasil.

patricia.santos11@estudante.ufla.br

Resumo: O aproveitamento de biomassa residuais do manejo florestal representa uma fonte renovável e sustentável de energia, promovendo a reutilização de recursos naturais. A caracterização química dessas biomassas é essencial para avaliar sua qualidade energética, destacando-se os extrativos por influenciarem o poder calorífico, higroscopicidade, densidade, resistência e o rendimento gravimétrico da carbonização. Contudo, estudos sobre a influência dos extrativos para espécies nativas da Amazônia são escassos. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto do teor de extrativos nas propriedades químicas da madeira de cinco espécies amazônicas oriundas de resíduos do manejo: *Dinizia excelsa*, *Protium altissimum*, *Parkia pendula*, *Inga* spp., e *Manilkara* spp. Foram determinados os teores de extrativos totais e solúveis em água quente. Em seguida, foi realizada a química imediata com amostras in natura e após a remoção dos extrativos em água quente. Para a análise estatística foram aplicados o teste Scott-Knott para identificação de diferenças estatísticas. Os maiores teores de extrativos totais e em água quente foi observado *D. excelsa* (16,38% e 9,95%, respectivamente). Na análise in natura, *P. pendula* apresentou o menor teor de cinzas (0,51%). Após a extração em água quente, *D. excelsa* passou a apresentar o teor mais elevado de cinzas, embora tenha mantido os maiores teores de carbono fixo, menor teor de voláteis e alto teor de extrativos, características que a destacam para processos de carbonização. A *P. altissimum* e *Inga* spp., foram as espécies mais impactadas pela remoção dos extrativos em água quente, com alterações significativas em suas propriedades químicas imediata.

Palavras-chave: Composição química; Extrativos em água quente; Biomassa.

IMPACT OF EXTRACTIVE REMOVAL ON TIMBER WASTE IN THE AMAZON

Abstract: The use of biomass residues from forest management represents a renewable and sustainable source of energy, promoting the reuse of natural resources. The chemical characterization of these biomasses is essential to assess their energy quality, with extractives standing out as they influence calorific value, hygroscopicity, density, strength, and gravimetric carbonization yield. However, studies on the influence of extractives on native Amazonian species are scarce. Therefore, this study aimed to evaluate the impact of extractive content on the chemical properties of wood from five Amazonian species derived from forest management residues: *Dinizia excelsa*, *Protium altissimum*, *Parkia pendula*, *Inga* spp., and *Manilkara* spp. Total and hot-water-soluble extractive contents were determined. Subsequently, immediate chemical analysis was performed on raw samples and after extractive removal in hot water. Statistical analysis used the Scott-Knott test to identify statistical differences. The highest total and hot-water extractive contents were observed for *D. excelsa* (16.38% and 9.95%, respectively). In the in natura analysis, *P. pendula* had the lowest ash content (0.51%). After hot-water extraction, *D. excelsa* presented the highest ash content, although it maintained the highest fixed carbon content, lowest volatile content, and high extractive content, characteristics that distinguish it for carbonization processes. *P. altissimum* and *Inga* spp. were the species most impacted by the hot-water extractive removal, with significant changes in their immediate chemical properties.

Keywords: Chemical composition; Extractives in hot water; Biomass.

1. INTRODUÇÃO

Os extrativos são encontrados em menores proporções na biomassa, são complexos e podem ser extraídos por diferentes solventes, abrangendo componentes como compostos alifáticos, terpenoides e fenólicos (GAO *et al.*, 2024). Por estarem em menor quantidade na biomassa em relação aos outros componentes são muitas vezes negligenciados (WANG *et al.*, 2017). Contudo, apesar da pequena proporção dos extrativos presentes na madeira, eles influenciam nas propriedades mecânicas, pirólise, densidade e na qualidade da madeira (KUMAR *et al.*, 2024; GOUVÊA *et al.*, 2015). O entendimento da composição química dos elementos da madeira é fundamental para avaliar sua qualidade, otimização da tecnologia no controle de qualidade dos processos de produção de carvão vegetal ou uso da madeira para fonte energética. A composição química simboliza um importante indicador de combustibilidade e comportamento termoquímico da madeira. Em particular o teor de lignina e extrativos fenólicos da madeira se destacam, pois auxiliam no acréscimo do poder calorífico superior (ZANUNCIO *et al.*, 2014).

Os extrativos são capazes de conferir resistência ao ataque de agentes deterioradores, diminuição da permeabilidade e da higroscopicidade (PEDRAZZI *et al.*, 2019). Além disso, podem aumentar o poder calorífico da madeira e do carvão vegetal, auxiliando com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal (LIMA *et al.*, 2020) e influenciar na densidade, permeabilidade e valor energético (BUFALINO *et al.*, 2012).

Em estudo realizado Leite *et al.* (2024), os autores verificaram após o tratamento térmico a 220°C, o conteúdo de extrativos da madeira de assacú e murici aumentou 4,99% e 7,49%, respectivamente. Isso indica mudanças significativas nas propriedades químicas dessas madeiras amazônicas devido ao tratamento térmico. Portanto, para a produção de biotermorreductor recomenda-se madeiras com elevado teor de extrativos de natureza fenólica. No entanto, ainda são escassos na literatura estudos que abordem a influência dos extrativos em outras propriedades da madeira, especialmente em espécies nativas da Amazônia. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do teor de extrativos sobre a composição química imediata da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi advindo dos resíduos do manejo florestal sustentável, realizado na Fazenda Rio Capim, no município de Paragominas – PA. Foram utilizadas cinco espécies, de acordo com o seu teor de extrativos totais: *Dinizia excelsa*, *Protium altissimum*, *Parkia pendula*, *Inga* spp., e *Manilkara* spp.

Os teores de extrativos totais foram determinados segundo a NBR 14853 (ABNT, 2010), utilizando 2 g de amostra seca extraída em soxhlet com etanol/tolueno (2:1) por 6 horas, seguida de extração em etanol por 5 horas e lavagem com água destilada quente. O material foi seco em estufa a 103 ± 2 °C por 24 horas.

Os extrativos solúveis em água quente foram obtidos conforme a NBR 14577 (ABNT, 2017), utilizando 2 g de amostra em 100 ml de água destilada quente, mantida em banho-maria por 3 horas, seguida de filtração e lavagem.

A análise química imediata foi realizada com 1 g de amostra, em triplicata, previamente seca a 103 ± 2 °C. A determinação de materiais voláteis e cinzas seguiu a norma D 1762-84 (ASTM, 2021) em mufla. O teor de carbono fixo foi obtido por diferença. O ensaio foi feito com amostras in natura e livres de extrativos por água quente. Para a análise estatística foram aplicados o teste ScottKnott para verificar a diferença estatísticas entre as espécies.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise imediata da madeira das espécies estudadas (Tabela 1). Observa-se que para o teor de extrativos totais variaram significativamente entre as espécies analisadas, com destaque para *D. excelsa* que apresentou o maior valor (16,96%), enquanto *Inga spp.* registrou o menor (2,77%). Quando avaliado o teor de extrativos em água quente, *D. excelsa* também se destacou com o maior valor (9,95%), ao passo que *P. pendula* apresentou o menor (2,09%).

Tabela 1: Composição química imediata da biomassa in natura e livre de extrativos removidos em água quente. Valores médios do teor de extrativos em água quente e extrativos totais de resíduos lenhosos de espécies amazônicas.

Espécie	In natura			Extrativos em água quente (% bs)	Extrativos totais	Água quente		
	Materia l volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)			Materia l volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)
<i>Dinizia excelsa</i>	79,62 _{c±0,49}	0,54 _{b±0,06}	19,84 a ^{±0,53}	9,95 _{a±0,75}	16,96 _{a±0,24}	82,75 _{b±0,54}	0,29 _{d±0,02}	16,96 a ^{±0,56}
<i>Protium altissimum</i>	79,34 _{c±0,21}	1,01 _{a±0,01}	19,62 a ^{±0,26}	5,77 _{b±0,52}	11,29 _{b±0,44}	83,64 _{b±0,28}	0,59 _{b±0,04}	15,76 a ^{±0,25}
<i>Parkia pendula</i>	83,2 _{a±0,86}	0,51 _{b±0,25}	15,83 c ^{±0,99}	2,09 _{d±0,23}	4,17 _{d±0,13}	84,13 _{b±1,26}	0,49c ^{±0,08}	15,37 a ^{±1,19}
<i>Inga spp.</i>	81,73 _{b±0,97}	1,12 _{a±0,17}	17,91 b ^{±0,85}	3,78 _{c±0,42}	2,77 _{e±0,07}	85,54 _{a±0,86}	0,69 _{a±0,09}	13,76 b ^{±0,86}
<i>Manilkara spp.</i>	83,14 _{a±0,04}	0,61 _{b±0,02}	16,20 c ^{±0,09}	6,14 _{b±0,10}	7,54 c _{±0,08}	53,75 _{b±0,16}	0,40 _{c±0,03}	15,84 a ^{±0,19}

De acordo com o ScottKnott, médias seguidas pela mesma letra em uma coluna não diferem estatisticamente ($p > 0,05$). Média $\pm$ desvio padrão.

Em relação à química imediata das amostras in natura, os teores de materiais voláteis variaram entre 79,34% (*P. altissimum*) a 83,20% (*P. pendula*). Após a extração com água quente, essa faixa se ampliou, com valores variando de 53,75% (*Manilkara spp.*) a 85,54% (*Inga spp.*). Isso demonstra que, para algumas espécies, a remoção de extrativos contribuiu para uma redução no conteúdo de compostos voláteis, enquanto para outras, os extrativos removidos representavam uma fração mais significativa da massa volátil total.

Os teores de cinzas nas amostras in natura variaram de 0,54% (*D. excelsa*) a 1,12% (*Inga spp.*). Enquanto as amostras livres de extrativos em água quente, os valores oscilaram de 0,29 a 0,69 para as mesmas espécies respectivamente. A redução no teor de cinzas após a remoção dos extrativos sugere que parte dos compostos minerais pode estar associada a frações solúveis presentes nos extrativos.

Quanto ao carbono fixo *D. excelsa* novamente se destacou, apresentando os maiores teores tanto nas amostras in natura (19,84%) quanto ao material submetido à extração com água quente (16,96%). Em contraste, os menores valores foram observados em *P. pendula* (15,84%) e *Inga spp.* (13,76%) após a remoção dos extrativos. A literatura relata que a remoção de extrativos tende a diminuir o teor de carbono fixo e aumentar a fração de voláteis, uma vez que os extrativos contribuem significativamente para o conteúdo de carbono da biomassa (DUAN *et al.*, 2024). Esse comportamento foi confirmado neste estudo, em que se observou uma redução no carbono fixo acompanhada de um aumento na fração volátil após a extração em água quente.

As espécies mais impactadas pela remoção dos extrativos foram *P. atissimum* e *Inga* spp., que apresentaram maiores variações nos teores de carbono fixo e materiais voláteis, indicando maior dependência da composição química dos extrativos. Por outro lado, *P. pendula* e *Manilkara* spp., demonstraram menor sensibilidade à remoção, com alterações mais discretas em suas propriedades químicas.

Dentre os dados obtidos, a *D. excelsa* se destacou como a espécie com maior potencial energético, devido à combinação de alto teor de carbono fixo e baixo teor de cinzas, tanto no material in natura quanto após a extração. *P. pendula*, com alto teor de voláteis (83,2%), apresenta comportamento de queima mais rápida, enquanto o *Inga* spp., com menor teor de carbono fixo após a remoção dos extrativos, mostra-se fortemente influenciada pela presença de extrativos, o que pode comprometer sua performance em processos de carbonização.

Essas diferenças entre espécies estão diretamente relacionadas às exigências de qualidade, por exemplo para carvão vegetal voltado à siderurgia. A composição química da madeira influencia diretamente o desempenho dos fornos, sendo que altos teores de carbono fixo (74 a 77%) são desejáveis nesse setor, por favorecerem maior estabilidade térmica e capacidade energética (ASSIS *et al.*, 2016). Por outro lado, teores elevados de materiais voláteis, embora proporcionem ignição mais rápida, reduzem a eficiência do carvão em altos-fornos (PROTÁSIO *et al.*, 2021). Com relação aos materiais voláteis maior quantidades tendem a possuir uma ignição mais fácil e mais rápida, diminuindo a eficiência do carvão vegetal no alto-forno do carvão vegetal (PROTÁSIO *et al.*, 2021). Da mesma forma, baixos teores de cinzas (inferiores a 1%) são preferíveis, pois evitam a corrosão dos equipamentos e garantem melhores propriedades do ferro-gusa (BARROS *et al.*, 2023). Dentro desse contexto, as espécies *D. excelsa* e *P. altissimum* se destacam por apresentarem baixos teores de voláteis e altos teores de carbono fixo, sendo, portanto, as mais indicadas para aplicações para carvão vegetal para usos siderúrgicos.

4. CONCLUSÃO

A composição química das biomassas apresentou diferenças entre os materiais in natura e aqueles submetidos à extração em água quente. Os extrativos desempenham um papel importante na química imediata, especialmente nos teores de materiais voláteis e carbono fixo. A espécie *D. excelsa* apresentou os menores teores de voláteis e maior teor de carbono fixo, destacando-se como a mais promissora para aplicações em processos de carbonização.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM D 1762-84: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, p.2, 2007
- ASSIS, M. R.; BRANCHERIAU, L.; NAPOLI, A.; TRUGILHO, P. F. Factors affecting the mechanics of carbonized wood: literature review. **Wood Science and Technology**, v. 50, p. 519-536, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14577**: Pasta celulósica e madeira - Determinação do material solúvel em água. Rio de Janeiro: 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: Madeira - determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: 2010.

- BARROS, D. D. S.; LIMA, M. D. R.; DIAS JUNIOR, A. F.; BUFALINO, L.; MASSUQUE, J.; SANTOS, E. V.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, F. A.; PROTÁSIO, T. D. P. Does the segregation of wood waste from Amazonia improve the quality of charcoal produced in brick kilns?. **BioEnergy Research**, v. 16, n. 3, p. 1604-1617, 2023.
- BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A.M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 32, n. 70. P. 129-137, abr/jun. 2012.
- DUAN, X., LU, S., FU, Y., ZHANG, J., LIU, T., MA, J. Ash removal from inferior coal via ammonium fluoride roasting and simultaneous yield of white carbon black. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 261-279, 2024.
- GAO, C.; CUI, X.; MATSUMURA, J. Multidimensional Exploration of Wood Extractives: A Review of Compositional Analysis, Decay Resistance, Light Stability, and Staining Applications. **Forests**, v. 15, n. 10, p. 1782, 2024.
- GOUVÊA, A. F. G., TRUGILHO, P. F., OLIMPIA, A. C., ASSIS, M. R., COLODETTE, J. L., GOMES, C. M. Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 2, 2015.
- KUMAR, A. K., AGAR, D. A., RUDOLFSSON, M., KILPELÄINEN, P., TIENAHÖ, J., FERNANDO, D. Micromorphology and native extractive behaviour of wood powder. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 25548, 2024.
- LEITE, A. S., NASCIMENTO, C. S., ALMEIDA CRUZ, I., OLIVEIRA, M. S., ARAÚJO, R. D., NASCIMENTO, C. C., HIGUCHI, N. Impact of thermal treatment on the properties of assacú (*Hura crepitans* L.) and murici (*Byrsonima crispa* A. Juss.) Amazon woods. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 54, 2024.
- LIMA, M. D. R.; PATRÍCIO, E. P. S.; JUNIOR, U. D. O. B.; DE ASSIS, M. R.; XAVIER, C. N.; BUFALINO, L.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; PROTÁSIO, T. P. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, p. 105660, 2020.
- PANDEY, K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. **Polymer degradation and stability**, v. 87, n. 2, p. 375-379, 2005. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.09.007.
- PEDRAZZI, C.; DICK, G.; COLDOBELA, R.; GENTIL, M.; GIESBRECHT, B. M.; ROSA, R. C. **Química da madeira**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, 2019.
- PROTÁSIO, T. P.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; FIGUEIREDO, I. C. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of Eucalyptus clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34-45, 2021.
- WANG, S.; DAI, G.; YANG, H.; LUO, Z. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: a state-of-the-art review. **Prog Energy Combust Sci** 62:33–86. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>
- ZAHARIN, F. B. A. Efeito de extrativos na densidade e durabilidade natural da madeira de *Tristanopsis Whiteana* e *T. beccaril* (Myrtaceae). 2013. Tese de Doutorado. Universidade da Malásia Sarawak.

ZANUNCIO, A. J. V., CARVALHO, A. G., TRUGILHO, P. F., MONTEIRO, T. C. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Arvore**, v. 38, n. 2, p. 369–374, 1 abr. 2014.

DISTRIBUIÇÃO DA LIGNINA GUAICIL E SIRINGIL NA ANATOMIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES NATIVAS DA AMAZÔNIA

Jordão Cabral Moulin^{1*}; Josy Tainara Silva Silva¹; Tatiana de Fátima Martins Pires¹.

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

**Autor correspondente (e-mail): jordao_cm@hotmail.com*

Resumo: A lignina é um dos principais componentes estruturais da madeira, formada por unidades guaiacil (G) e siringil (S), cuja proporção e distribuição variam entre espécies e tipos celulares. Este trabalho teve como objetivo analisar a distribuição da lignina guaiacil e siringil em espécies nativas da Amazônia, utilizando o teste histoquímico de coloração de Mäule. Foram avaliadas amostras de sete espécies comerciais: melancieira, angelim saia, guaruba, angelim pedra, freijó, pequiá e angelim vermelho. As lâminas histológicas foram preparadas e coradas com solução de KMnO₄, HCl e tampão Tris-HCl, sendo posteriormente observadas por microscopia de fluorescência. A coloração vermelha indica predominância de lignina siringil, enquanto o amarelo indica predominância de lignina guaiacil. Os resultados revelaram que as espécies angelim saia, guaruba, melancieira e pequiá apresentaram maior proporção de lignina siringil, especialmente nas fibras. Já as espécies angelim pedra, angelim vermelho e freijó apresentaram coloração amarela predominante nas fibras e vasos, indicando maior conteúdo de lignina guaiacil. No geral, todas as espécies apresentaram maior concentração de lignina guaiacil na parede dos vasos. Os resultados reforçam a importância do estudo da lignina nos diferentes tecidos da madeira, relacionando-se com a resistência mecânica e o potencial de aplicação industrial das espécies.

Palavras chave: Microscopia de fluorescência; Mäule; Parede celular.

DISTRIBUTION OF GUAICYL AND SYRINGYL LIGNIN IN THE ANATOMY OF WOOD FROM NATIVE SPECIES OF THE AMAZON

Abstract: Lignin is one of the main structural components of wood, formed by guaiacyl (G) and syringyl (S) units, whose proportion and distribution vary between species and cell types. This study aimed to analyze the distribution of guaiacyl and syringyl lignin in native Amazonian species, using the histochemical Mäule staining test. Samples of seven commercial species were evaluated: melancieira, angelim saia, guaruba, angelim pedra, freijó, pequiá and angelim vermelho. The histological slides were prepared and stained with KMnO₄, HCl and Tris-HCl buffer solution, and subsequently observed by fluorescence microscopy. Red coloration indicates predominance of syringyl lignin, while yellow indicates predominance of guaiacyl lignin. The results revealed that the species angelim saia, guaruba, melancieira and pequiá presented a higher proportion of syringyl lignin, especially in the fibers. The species angelim pedra, angelim vermelho and freijó presented a predominant yellow coloration in the fibers and vessels, indicating a higher content of guaiacyl lignin. In general, all species presented a higher concentration of guaiacyl lignin in the vessel walls. The results reinforce the importance of studying lignin in the different wood tissues, relating it to the mechanical resistance and the potential for industrial application of the species.

Keywords: Fluorescence microscopy; Mäule; Guaiacil; Syringyl.

1. INTRODUÇÃO

A lignina é o segundo maior componente químico da madeira (25%-35%), composta de unidades p-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S), que derivam da polimerização de álcoois hidroxicinâmicos, p-cumarílicos, coniferílicos e sináfilicos (Vanholme *et al.*, 2019). A composição e teor de lignina diferem significativamente entre folhosas (angiospermas) e coníferas (gimnospermas). Enquanto as coníferas apresentam predominantemente unidades de guaiacil (G) com pequenas quantidades de p-hidroxifenil (H) e maiores teores totais de lignina, as folhosas contêm proporções variáveis de unidades siringil (S) e guaiacil (G), cuja distribuição depende do tipo celular e da estrutura da parede (Edmunds *et al.*, 2017).

Na indústria de celulose e papel, a lignina representa tanto um desafio quanto uma oportunidade. Sua remoção eficiente durante o processamento demanda quantidades significativas de produtos químicos e energia, especialmente em madeiras com baixa razão S/G (Li *et al.*, 2003; Cui *et al.*, 2016). Em contrapartida, esse mesmo polímero emerge como matéria-prima valiosa em biorrefinarias, onde técnicas inovadoras como pré-tratamentos com líquidos iônicos permitem seu fracionamento seletivo para produção de biocombustíveis e bioprodutos (Huang *et al.*, 2018). Na indústria energética, a lignina contribui positivamente para a qualidade do carvão vegetal, conferindo maior densidade aparente e poder calorífico. Durante a carbonização, sua degradação lenta, contrastando com a rápida decomposição de celulose e hemicelulose, resulta em maior rendimento energético (Gouvêa *et al.*, 2015).

A lignina desempenha um papel fundamental nas propriedades químicas e físicas da parede celular, sendo de grande relevância compreender sua distribuição e proporção unitária nas paredes celulares das plantas lenhosas (Yamashita *et al.*, 2016). A diferença estrutural tem implicações práticas, onde madeiras com maior razão S/G apresentam lignina mais reativa e, conseqüentemente, são mais facilmente deslignificadas (Nawawi *et al.*, 2017). Em folhosas, a parede celular do vaso e lamela média, geralmente contêm mais unidades G (Donaldson, 2001). Devido à sua função estrutural e à necessidade de resistência, os vasos devem suportar as grandes forças compressivas resultantes do fluxo de transpiração em plantas e, portanto, uma maior lignificação da parede celular é esperada para aumentar a resistência à compressão e reduzir sua suscetibilidade ao colapso (Yoshinaga *et al.*, 1992).

O teste de cor Mäule, que é realizado por tratamento sequencial com permanganato de potássio (KMnO₄), cloridrato e amônia aquosa, é um dos métodos mais eficientes para detecção de lignina (Yamashita *et al.*, 2016). Isso porque ele possibilita a distinção dos tipos de lignina, sendo possível visualizar a sua distribuição, na medida em que cora a lignina siringil em vermelho e a lignina guaiacil em amarelo (Nakagawa *et al.*, 2012). Diante disso, esse trabalho teve como objetivo analisar a distribuição da lignina guaiacil e siringil na anatomia da madeira de espécies nativas da Amazônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta das madeiras foi realizada em serrarias e marcenarias, localizadas na zona urbana do município de Altamira, no estado do Pará. Para o estudo, foram utilizadas amostras de sete espécies comercializadas na região: melancieira (*Alexa grandiflora* Ducke); angelim saia (*Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp.); guaruba (*Vochysia maxima* Ducke); angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke); freijó (*Cordia sagotii* I.M. Johnst.); pequiá (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers) e angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke).

Foram preparadas seções histológicas de 20 µm de espessura no plano transversal em micrótomo de deslize. A reação de coloração Mäule foi realizada conforme descrito por Yamashita

et al. (2016). Os cortes anatômicos foram tratados utilizando solução aquosa de permanganato de potássio (KMnO₄) a 1% (m/v) por 5 minutos. Em seguida, foram lavados três vezes com água destilada e tratados com ácido clorídrico (HCl) 1 N por 30 minutos e, novamente, lavados com água destilada. Para gerar a reação de coloração, foi adicionado tampão Tris-HCl (Tris-hidroximetilaminometano clorídrico) 1 M (pH 8) às seções, que foram então montadas em lâminas de vidro e cobertas com lamínulas.

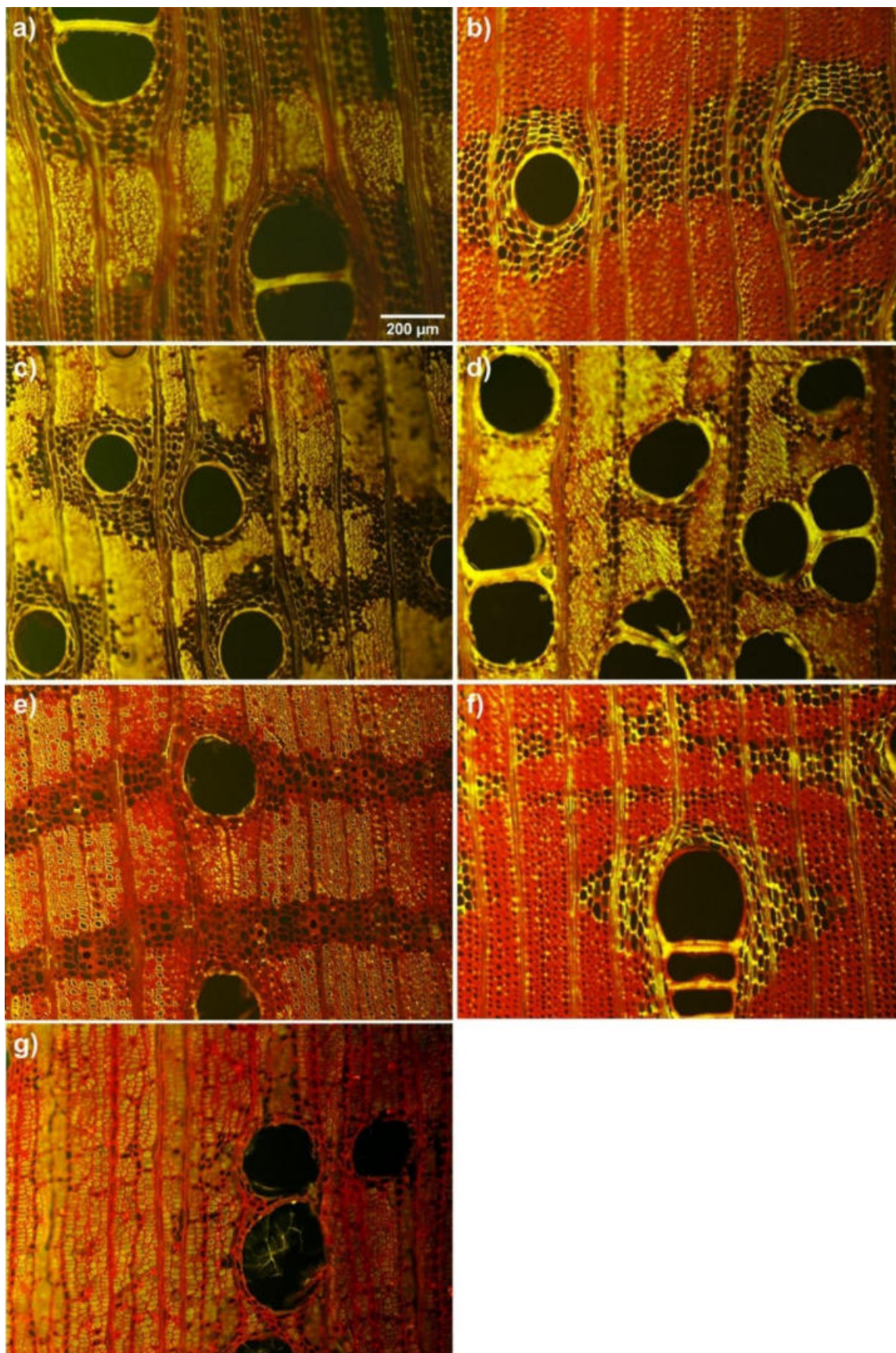
Para a observação microscópica da fluorescência e distinção da lignina, foi usado o microscópio de fluorescência da marca Zeiss Axio Scope A.1, com fonte de luz HBO 50, com magnificação de 100×, utilizando objetiva de 10× 0,25 NA, excitação de luz em 440-490 nm e emissão em 600-650 nm. Foram realizadas 20 fotomicrografias de cada espécie.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coloração da reação de Mäule permitiu a distinção entre os tipos de lignina presentes nas amostras de madeira. A lignina S, identificada pela cor vermelha, e a lignina G, pela cor amarela, revelaram os padrões de distribuição entre os diferentes tipos celulares e espécies avaliadas. Observou-se que as espécies angelim saia, guaruba, melancieira e pequiá (Figura 1b, e, f, g), apresentaram predomínio de lignina siringil, sobretudo nas fibras e no parênquima axial da espécie guaruba. Este padrão é coerente com o esperado para angiospermas lenhosas, que possuem maior proporção de unidades S em tecidos com menor exigência mecânica, uma vez que a lignina siringil é mais reativa, conferindo maior porosidade e facilidade de processamento químico (Edmunds *et al.*, 2017; Nawawi *et al.*, 2017).

Por outro lado, nas espécies angelim pedra, angelim vermelho e freijó (Figura 1a, c, d), a coloração predominante foi a amarela, indicando maior concentração de lignina guaiacil, especialmente nas paredes dos vasos e fibras. No geral, todas as espécies apresentaram maior concentração de lignina guaiacil na parede dos vasos. Este resultado reforça que a lignina guaiacil, por possuir uma estrutura mais resistente, é mais adequada a regiões sujeitas a maiores tensões mecânicas, como vasos condutores que enfrentam variações de pressão causadas pelo fluxo de seiva (Yoshinaga *et al.*, 1992; Donaldson, 2001).

Figura 5 - Fotomicrografias do tratamento de Mäule com magnificação de 100×. Espécies: a) angelim pedra; b) angelim saia; c) angelim vermelho; d) freijó; e) guaruba f) melancieira g) pequiá.



4. CONCLUSÃO

A coloração obtida pela reação de Mäule evidenciou padrões distintos de distribuição de lignina entre as espécies estudadas. Angelim saia, guaruba, melancieira e pequiá apresentaram maior proporção de lignina siringil, especialmente nas fibras. Por outro lado, angelim pedra, angelim vermelho e freijó mostraram predominância de lignina guaiacil nas fibras e vasos. No geral, todas as espécies apresentaram maior concentração de lignina guaiacil na parede dos vasos.

REFERÊNCIAS

- CUI, H.S.; YANG, S.M.; LIU, X.E.; MA, J.F.; TIAN, G.L. Chemical composition and lignin distribution of *Salix integra*. **Chemistry and Industry of Forest Products**, 36(5), 120-126, 2016. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0253-2417.2016.05.018>.
- DONALDSON, L.A. Lignification and lignin topochemistry - an ultrastructural view. **Phytochemistry**, 57, 859-873, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00049-8).
- EDMUNDS, C.W.; PERALTA, P.; KELLEY, S.S.; CHIANG, V.L.; SHARMA-SHIVAPPA, R.R.; DAVIS, M.F.; HARMAN-WARE, A.E.; SYKES, R.W.; GJERSING, E.; CUNNINGHAM, M.W.; ROTTMANN, W.; MILLER, Z.D.; PESZLEN, I. Characterization and enzymatic hydrolysis of wood from transgenic *Pinus taeda* engineered with syringyl lignin or reduced lignin content. **Cellulose**, 24, 1901-1914, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1231-z>.
- GOUVÊA, A.F.G.; TRUGILHO, P.F.; ASSIS, C.O.; ASSIS, M.R.; COLODETTE, J.L.; GOMES, C.M. Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência da Madeira**, 6, 71-78, 2015. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p71-78>.
- HUANG, Y.; DUAN, Y.; QIU, S.; WANG, M.; JU, C.; HUI, C.; FANG, Y.; TAN, T. Lignin-first biorefinery: a reusable catalyst for lignin depolymerization and application of lignin oil to jet fuel aromatics and polyurethane feedstock. **Sustainable Energy and Fuels**, 2, 637-647, 2018. <https://doi.org/10.1039/C7SE00535K>.
- LI, L.; ZHOU, Y.; CHENG, X.; SUN, J.; MARITA, J.; RALPH, J.; CHIANG, V. Modificação combinatória de múltiplas características de lignina em árvores por meio de cotransformação multigênica. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 100, 4939-4944, 2003.
- NAKAGAWA, K.; YOSHINAGA, A.; TAKABE, K. Anatomy and lignin distribution in reaction phloem fibres of several Japanese hardwoods. **Ann. Bot.**, 110, 897-904, 2012. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs144>.
- NAWAWI, D.; SYAFIL, W.; TOMODA, I.; UCHIDA, Y.; AKIYAMA, T.; YOKOYAMA, T.; MATSUMOTO, Y. Characteristics and reactivity of lignin in *Acacia* and *Eucalyptus* woods. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, 37, 273-282, 2017. <https://doi.org/10.1080/02773813.2017.1291684>.
- VANHOLME, R.; MEESTER, B.; RALPH, J.; BOERJAN, W. Lignin biosynthesis and its integration into metabolism. **Current Opinion in Biotechnology**, 56, 230-239, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.018>.
- YAMASHITA, D.; KIMURA, S.; WADA, M.; TAKABE, K. Improved Maule color reaction provides more detailed information on syringyl lignin distribution in hardwood. **J. Wood Sci.**, 62, 131-137, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1536-9>.
- YOSHINAGA, A.; FUJITA, M.; SAIKI, H. Relationships between cell evolution and lignin structural varieties in oak xylem evaluated by microscopic spectrophotometry with separated cell walls. **Mokuzai Gakkaishi**, 38, 629-637, 1992.

APLICAÇÃO DA MICROSCOPIA DE AUTOFLUORESCÊNCIA EM LÂMINAS HISTOLÓGICAS NA QUANTIFICAÇÃO DA LIGNINA EM ESPÉCIES AMAZÔNICAS

Josy Tainara Silva Silva^{1*}; Jordão Cabral Moulin¹; Tatiana de Fátima Martins Pires¹.

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): josytai15@gmail.com

Resumo: A utilização de microscopia de fluorescência tem se destacado como uma ferramenta promissora, permitindo a análise qualitativa e quantitativa da lignina em amostras histológicas de madeira. O objetivo deste trabalho foi aplicar a microscopia de autofluorescência em lâminas histológicas com ausência de extrativos para quantificar a lignina em espécies amazônicas, relacionando a intensidade de fluorescência emitida e o teor de lignina total. Foram analisadas sete espécies nativas da Amazônia, o teor de lignina da madeira foi obtido pelo método Klason. Na análise da intensidade de fluorescência, as seções histológicas foram tratadas em hipoclorito de sódio (NaClO) a 60% para remoção dos extrativos. As fotomicrografias foram tiradas em microscópio de fluorescência com excitação de luz em 440-490 nm e emissão em 490-565 nm, e processadas no software *ImageJ-Fiji* de forma automática pela ferramenta ‘*subtract*’. Foi ajustado uma equação de regressão linear entre a intensidade de fluorescência e o teor de lignina e conduzido uma análise de correlação de Pearson. A microscopia de autofluorescência foi eficaz para a análise da lignina, eliminando interferências que mascaram o seu sinal. A correlação de Pearson de 0,87 confirma que a fluorescência medida reflete o teor real de lignina na madeira, portanto, é uma técnica viável e eficiente para a avaliação da lignina a nível celular, com potencial para uso em pesquisas e aplicações industriais.

Palavras chave: Anatomia da madeira; Intensidade de fluorescência; *ImageJ*.

APPLICATION OF AUTOFLUORESCENCE MICROSCOPY WITHOUT EXTRACTIVES IN THE QUANTIFICATION OF CELLULAR LIGNIN IN AMAZONIAN SPECIES

Abstract: The use of fluorescence microscopy has emerged as a promising tool, allowing the qualitative and quantitative analysis of lignin in histological wood samples. The objective of this study was to apply autofluorescence microscopy without extractives as a method for quantifying cellular lignin in Amazonian species, relating the intensity of emitted fluorescence and the total lignin content. Seven native Amazonian species were analyzed, and the lignin content of the wood was obtained by the Klason method. In the analysis of fluorescence intensity, the histological sections were treated in 60% sodium hypochlorite (NaClO) to remove extractives. Photomicrographs were taken under a fluorescence microscope with light excitation at 440-490 nm and emission at 490-565 nm and processed automatically in the *ImageJ-Fiji* software by the ‘*subtract*’ tool. A linear regression equation was fitted between fluorescence intensity and lignin content and a Pearson correlation analysis was performed. Autofluorescence microscopy without extractives was effective for accurate lignin analysis, eliminating interferences that mask its signal. The strong correlation ($R^2=76.22\%$; $r=0.87$) confirms that the measured fluorescence reflects the real lignin content in the wood, therefore, it is a viable and efficient technique for the evaluation of lignin at the cellular level, with potential for use in research and industrial applications.

Keywords: Wood anatomy; Fluorescence intensity; *ImageJ*.

1. INTRODUÇÃO

A lignina é o segundo maior componente químico da madeira (25%-35%), composta de unidades p-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S), que derivam da polimerização de álcoois hidroxicinâmicos, p-cumarílicos, coniferílicos e sináfilicos (Vanholme *et al.*, 2019). Sendo um dos principais componentes estruturais, desempenha um papel essencial na rigidez, impermeabilidade e resistência ao ataque de microrganismos. Quimicamente, trata-se de um polímero aromático complexo que, associado à celulose e à hemicelulose, confere propriedades mecânicas e químicas às plantas vasculares (Donaldson, 2001).

Além disso, a lignina possui grande relevância para aplicações industriais, sendo utilizada em processos como a produção de papel, energia, biocombustíveis e materiais compósitos, o que a torna objeto de crescente interesse em pesquisas científicas. Na Floresta Amazônica, a madeira de espécies nativas apresenta alta diversidade de características estruturais e químicas, incluindo variações significativas no teor de lignina. Essas variações influenciam diretamente as propriedades físicas e químicas da madeira (Ferreira *et al.*, 2020). Nesse contexto, a utilização de microscopia de fluorescência tem se destacado como uma ferramenta promissora, permitindo a análise qualitativa e quantitativa da lignina em amostras histológicas de madeira (Gierlinger; Schmidt, 2006).

Análises químicas tradicionais da madeira, com ênfase na determinação de lignina, não permitem analisar a lignina em nível celular. O estudo da lignina em nível celular pode ser realizado por diferentes técnicas microscópicas e microespectroscopia. Uma metodologia que pode ser utilizada é a técnica de fluorescência, que permite além da análise quantitativa, a avaliação da distribuição espacial da lignina no tecido lenhoso. A fluorescência natural da lignina decorre da presença de grupos cromóforos e fluoróforos em sua estrutura química (Liu *et al.*, 2004). Os cromóforos, responsáveis pela absorção de luz em comprimentos de onda específicos, enquanto os fluoróforos reemitem luz após excitação (Donaldson; Radotić, 2013).

Dentre as técnicas disponíveis, a microscopia de autofluorescência destaca-se como um método eficiente para mapear a distribuição da lignina, apresentando vantagens como maior praticidade de análise. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada para localizar lignina em madeira e polpa, investigar os efeitos de processos industriais, estudar a fotodegradação de superfícies de madeira e analisar sua distribuição em diferentes espécies lenhosas (Donaldson, 2013). Contudo, o sinal da lignina pode ser mascarado pela presença de outros compostos autofluorescentes no material vegetal, como os extrativos.

Nesse panorama, o objetivo deste trabalho foi aplicar a microscopia de autofluorescência em lâminas histológicas com ausência de como método de quantificação da lignina em espécies amazônicas, relacionando a intensidade de fluorescência emitida e o teor de lignina total da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta das madeiras foi realizada em serrarias e marcenarias, localizadas na zona urbana do município de Altamira, no estado do Pará. Para o estudo, foram utilizadas amostras de sete espécies comercializadas na região: melancieira (*Alexa grandiflora* Ducke); angelim saia (*Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp.); guaruba (*Vochysia maxima* Ducke); angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke); freijó (*Cordia sagotii* I.M. Johnst.); pequiá (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers) e angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke). A seleção das espécies baseou-se nas variações do teor de lignina, sendo espécies que normalmente possuem baixo, médio e alto teor de lignina. As amostras de madeira foram separadas, destinando parte do material coletado à análise química, e outra parte à

análise da intensidade de fluorescência. Todas as etapas foram realizadas utilizando o mesmo pedaço de lenho, garantindo a uniformidade entre as análises.

A análise de teor de lignina foi do tipo Klason, conforme a norma TAPPI T 222 om-22 (2022), modificada de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986), com remoção prévia dos extrativos por extração sequencial com acetona e água quente. A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

Para análise da intensidade de fluorescência em lâminas histológicas, foram preparadas em micrótomo de deslize seções de 20 µm de espessura no plano transversal. Os cortes anatômicos foram submersos em hipoclorito de sódio (NaClO) a 60% (m/v), com temperatura entre 30°C a 40°C, por 3 minutos, em seguida, lavados 3 vezes com água destilada e então montadas em lâminas de vidro. Posteriormente, para tirar as fotomicrografias, foi usado o microscópio de fluorescência da marca Zeiss Axio Scope A.1, com fonte de luz HBO 50, com magnificação de 100×, utilizando objetiva de 10× 0,25 NA, excitação de luz em 440-490 nm e emissão em 490-565 nm. Foram realizadas 20 fotomicrografias de cada espécie.

As fotomicrografias com área de 278 × 208 µm e resolução de 2584 × 1936 pixels, foram processadas no software *ImageJ-Fiji* (Schindelin *et al.*, 2012), para remoção das regiões não fluorescentes (lúmen celular), consideradas como *background*, de forma automática pela ferramenta ‘*subtract*’ e posterior quantificação da intensidade da fluorescência. Foram aplicados métodos de análise estatística, ajustando equações de regressão linear entre a intensidade de fluorescência e o teor de lignina. Foi conduzida uma análise de correlação de Pearson, considerando um nível de significância estatística de 95% ($p < 0,05$). Além disso, foi feita uma análise de regressão linear entre a intensidade de fluorescência e o teor de lignina, avaliando o ajuste dos modelos pelo coeficiente de determinação (R^2). As estatísticas foram calculadas a partir das médias das repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

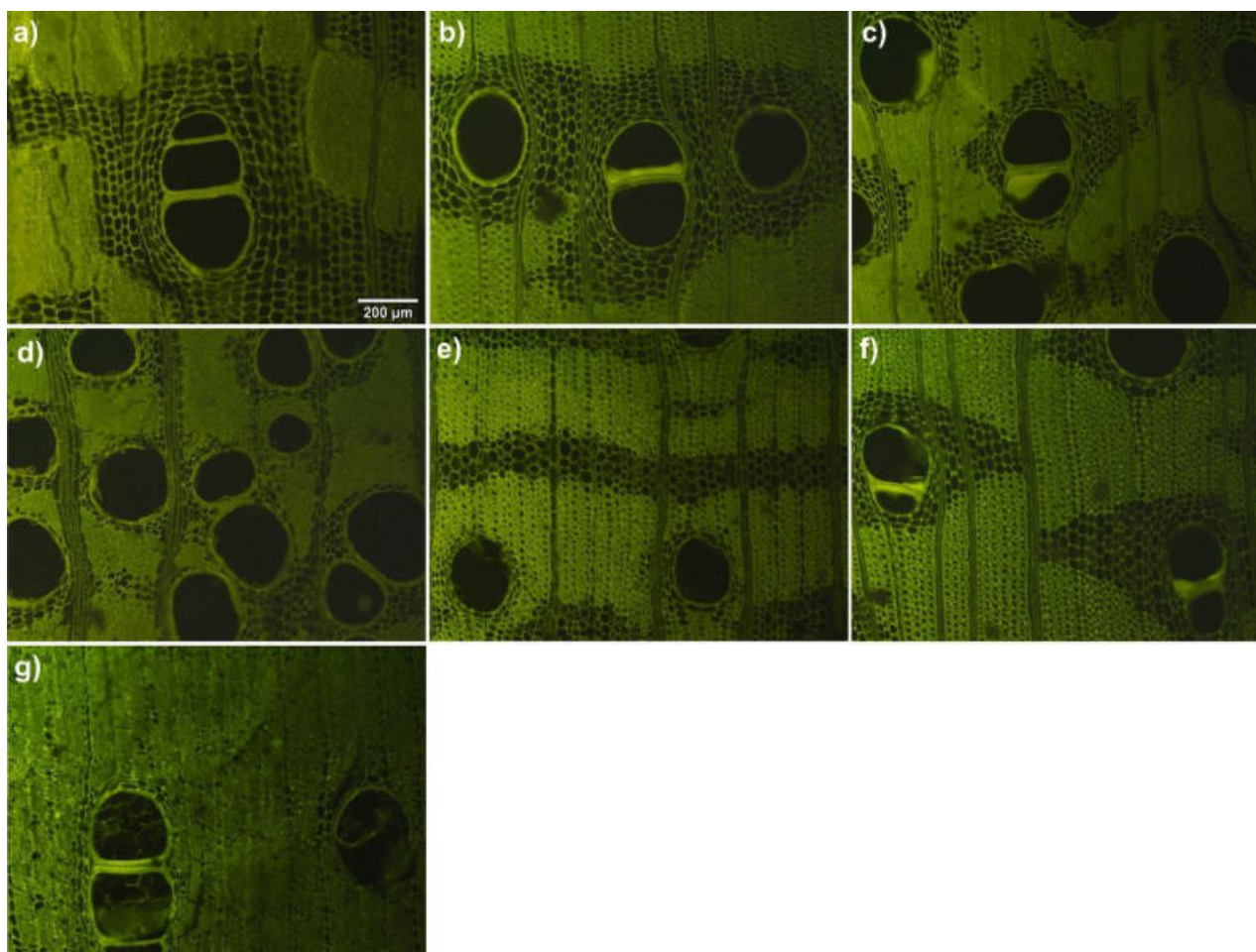
Na Tabela 1 é possível verificar a alta variação na composição química das espécies, com os teores de extrativos variando de 5,46% para pequiá (*C. villosum* (Aubl.) Pers) a 14,03% para o angelim vermelho (*D. excelsa* Ducke) e teores de lignina variando de 27,14% para melancieira (*A. grandiflora* Ducke) a 32,43% para guaruba (*V. maxima* Ducke). Na Figura 1 podem ser visualizadas as imagens das espécies com o tratamento de autofluorescência sem extrativos, as fotomicrografias mostraram boa nitidez e contraste.

Tabela 6 - Valores médios dos teores de extrativos e lignina para as espécies analisadas.

Espécies	Teor de extrativos (%)	Teor de lignina (%)
Guaruba (<i>Vochysia maxima</i> Ducke)	5,91 (0,136)	32,43 (0,164)
Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> Ducke)	14,03 (0,332)	32,10 (0,166)
Angelim pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke)	8,60 (0,144)	30,84 (0,326)
Freijó (<i>Cordia sagotii</i> I.M. Johnst.)	6,68 (0,089)	30,40 (0,133)
Pequiá (<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers)	5,46 (0,171)	30,28 (0,231)
Angelim saia (<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. Ex Walp.)	12,15 (0,262)	28,92 (0,693)
Melancieira (<i>Alexa grandiflora</i> Ducke)	9,61 (0,187)	27,14 (0,633)

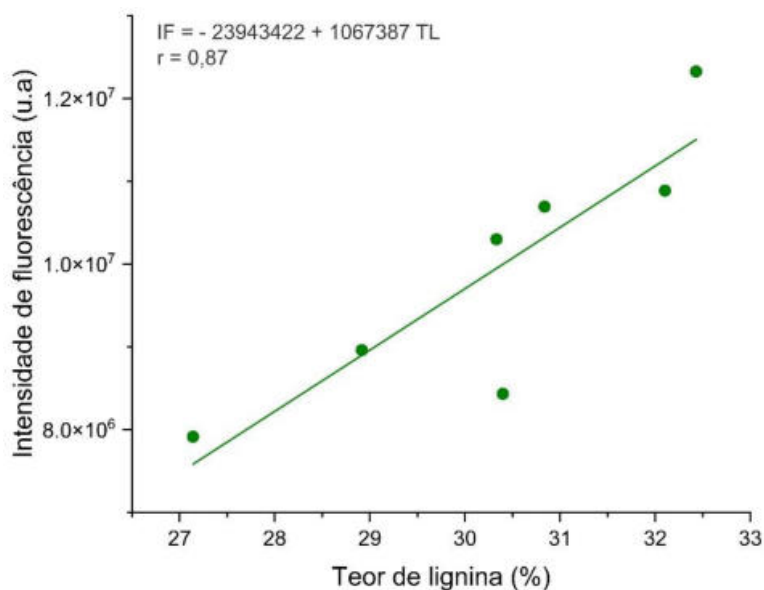
(valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão).

Figura 7 - Fotomicrografias com magnificação de 100×, do tratamento de autofluorescência sem extrativos. Espécies: a) angelim pedra; b) angelim saia; c) angelim vermelho; d) freijó; e) guaruba f) melancieira g) pequiá.



A Figura 2 ilustra a relação entre intensidade de fluorescência e teor de lignina, a linha de regressão linear indicou a tendência identificada na análise estatística. A remoção dos extrativos eliminou as possíveis fontes de interferência, permitindo que a emissão de fluorescência fosse atribuída principalmente à lignina presente nas paredes celulares. Isso resultou em um coeficiente de determinação de 72,22%, uma vez que as medidas de fluorescência se tornaram mais representativas da composição química real da madeira, a relação entre as variáveis apresentou significativo coef. de Pearson de 0,87. Moulin *et al.* (2024), ao comparar a quantificação de lignina do clone de *Eucalyptus urophylla* pelo método de fluorescência com o método convencional de bancada, encontrou resultados promissores, onde o método de fluorescência apresentou tendência semelhante ao método convencional para indicar o comportamento da lignina presente no tecido lenhoso a nível celular.

Figura 2 - Relação entre a Intensidade de Fluorescência (IF) por meio do tratamento de autofluorescência em lâminas histológicas com ausência de extrativos, com o Teor de Lignina total (TL). Sendo r = Coeficiente de correlação de Pearson.



4. CONCLUSÃO

A microscopia de fluorescência em lâminas histológicas com ausência de extrativos é eficaz para a análise da lignina na madeira, pois elimina interferências que mascaram o seu sinal. A forte correlação ($R^2 = 76,22\%$; $r = 0,87$) confirma que a fluorescência medida reflete o teor real de lignina na madeira, portanto, é uma técnica viável e eficiente para a avaliação da lignina a nível celular, com potencial para uso em pesquisas e aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

- DONALDSON, L.A. Lignification and lignin topochemistry - an ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57, 859-873, 2001.
- DONALDSON, L.A. Softwood and hardwood lignin fluorescence spectra of wood cell walls in different mounting media. *IAWA Journal*. 34 (1), 3-19, 2013. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000002>.
- DONALDSON, L.A.; RADOTIC, K. Fluorescence lifetime imaging of lignin autofluorescence in normal and compression wood. *J. Microsc.*, 251(2), 178-187, 2013. <https://doi.org/10.1111/jmi.12059>.
- FERREIRA, R.M.; SILVA, M.R.; OLIVEIRA, T.S. Quantificação de lignina em espécies nativas da Amazônia: uma abordagem comparativa. *Rev. Floresta*, 50, 123-135, 2020.
- GIERLINGER, N.; SCHMIDT, M. Imaging of plant cell walls by confocal Raman microscopy. *Nat. Protoc.*, 1, 2632-2638, 2006.
- GOLDSCHMID, O. *Ultraviolet spectra*. 1971. In K. V. Sarkanen & C. H. Ludwig (Eds.), *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions* (pp. 241-266). New York: Wiley.
- GOMIDE, J.L.; Demuner, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O Papel*, 47, 36-38, 1986.
- LIU, Y.X.; ZHAO, G.J. *Wood resource material science*. Beijing: Chinese Forestry Press, 2004.

MOULIN, J.C.; SILVA, J.T.S.; SANTOS, V.B.; CIRILO, N.R.M.; ALMEIDA, M.N.F.; VIDAURRE, G.B. Fluorescência da lignina da madeira de eucalipto submetido a estresse hídrico. **Anais do VI Congr. Bras. Ciênc. Tecnol. Madeira (CBCTEM)**, 2024.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. T 222 om-22. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta, 2022.

SCHINDELIN, J.; ARGANDA-CARRERAS, I.; FRISE, E.; *et al.* Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. **Nat. Methods**, 9, 676–682, 2012. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>.

VANHOLME, R.; DEMEDTS, B.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOERJAN, W. Lignin biosynthesis and structure. **Plant Physiol.**, 153(3), 895-905, 2010. <https://doi.org/10.1104/pp.110.155119>.

AVALIAÇÃO DO CERNE DE ÁRVORES DE TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS DE *Tectona grandis* PLANTADAS EM MATO GROSSO

ALVES, Katriele Muniz^{1*}; CARVALHO, Leticia Seles de¹; COELHO, Maria Eduarda Aguilar¹- HOFFMANN, Waldelaine Rodrigues²; OLIVEIRA, Aylson Costa³; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi³

¹Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

³Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

* Email: katrielemuniz22@gmail.com

Resumo: A *Tectona grandis* L. f. (teca) é uma espécie de alto valor comercial devido à qualidade e durabilidade de sua madeira, sendo amplamente cultivada no Brasil, especialmente no estado de Mato Grosso. Este estudo teve como objetivo avaliar a variação longitudinal da produção de cerne de árvores de três classes diamétricas. Foram coletados discos em quatro alturas (0,1 m, 2,7 m, 5,4 m e 8,1 m), de árvores classificadas em três classes diamétricas (I: 25,9–34 cm, II: 34–42 cm e III: 42–51,5 cm). Os resultados indicam que o diâmetro do cerne e o total sem casca diminuem com a altura, evidenciando o afilamento natural. Árvores de maior porte apresentaram maior porcentagem de cerne. A porcentagem média de cerne nas Classes III (65,96%) e II (63,40%) foram significativamente maiores que a Classe I (53,25%), independentemente da altura. Na base (0,1 m), a porcentagem de cerne (69,16 %) é maior que no topo (8,1 m), com 54%, independentemente da classe diamétrica. Tanto a classe diamétrica quanto a posição longitudinal ao longo do fuste influenciam significativamente os parâmetros avaliados, mas de forma independente. Observou-se que, quanto maior o diâmetro em posições mais próximas à base da árvore, maior é a produção de cerne.

Palavras chave: Qualidade da madeira; Variação longitudinal; Produção de Cerne.

EVALUATION OF HEARTWOOD IN TREES FROM THREE DIAMETER CLASSES OF *Tectona grandis* PLANTED IN MATO GROSSO

Abstract: *Tectona grandis* L. f. (teak) is a species of high commercial value due to the quality and durability of its wood, and it is widely cultivated in Brazil, especially in the state of Mato Grosso. This study aimed to evaluate the longitudinal variation in heartwood production in trees from three diameter classes. Discs were collected at four heights (0.1 m, 2.7 m, 5.4 m, and 8.1 m) from trees classified into three diameter classes (I: 25.9–34 cm, II: 34–42 cm, and III: 42–51.5 cm). The results indicate that both heartwood diameter and total diameter under bark decrease with height, reflecting the natural taper of the tree. Larger trees showed a higher percentage of heartwood. The average heartwood percentages in Classes III (65.96%) and II (63.40%) were significantly higher than in Class I (53.25%), regardless of height. At the base (0.1 m), the heartwood percentage (69.16%) was higher than at the top (8.1 m), where it reached 54%, independently of the diameter class. Both the diameter class and the longitudinal position along the stem significantly influenced the evaluated parameters, but independently. It was observed that the greater the diameter and the closer the position to the base of the tree, the higher the heartwood production.

Keywords: wood quality; Longitudinal variation; Heartwood production.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Tectona grandis* L. f. (teca), Lamiaceae, é nativa de regiões tropicais da Ásia, como Tailândia, Índia, Vietnã, Birmânia, Camboja e Indonésia. A madeira possui um alto valor comercial, devido à sua qualidade e durabilidade natural (VENDRUSCOLO et al., 2019). O crescente interesse econômico resultou em uma exploração intensiva e, consequentemente, na escassez das florestas naturais, o que levou à necessidade de importação da madeira (LIMA et al., 2009).

A teca foi introduzida no Brasil na década de 1970, com os primeiros plantios realizados em Mato Grosso, expandindo-se posteriormente para Rondônia, Pará e Tocantins (REIS et al., 2023). Desde então, observou-se um cenário promissor, caracterizado por plantações com ciclos de rotação mais curtos em comparação aos países de origem, boa adaptação da espécie às condições de clima e solo brasileiros, além do êxito no uso de clones. Esses fatores, em conjunto, impulsionaram o desenvolvimento da teca no país (MOREIRA et al., 2021). Esse avanço contribuiu de forma significativa para o setor madeireiro, especialmente no estado de Mato Grosso (OLIVEIRA, 2023). Atualmente, a madeira produzida abastece tanto o mercado interno quanto o externo, representando 46% de toda a madeira de teca exportada pela América Latina.

A madeira de teca é reconhecida por combinar densidade média com alta durabilidade natural. Essas propriedades são encontradas no cerne, que apresenta uma coloração característica marrom-dourada — parte valorizada comercialmente. No mercado internacional, há uma demanda crescente por peças com maior proporção de cerne, especialmente para os segmentos de serraria e laminação (COSTA et al., 2024).

Assim, este estudo teve como objetivo quantificar o diâmetro e a porcentagem de cerne no sentido longitudinal de árvores de classes diamétricas de *Tectona grandis*, provenientes de uma plantação comercial localizada em Salto do Céu, Mato Grosso, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material foi coletado em uma plantação comercial localizada no município de Salto do Céu, Mato Grosso. O plantio homogêneo de um clone de *Tectona grandis* foi realizado em 2008, com espaçamento de 4 × 4 metros. Foram realizadas desramas anuais e adubações com NPK e MAP nos anos de 2009 e 2016, respectivamente. Além disso, foram conduzidos desbastes sistemáticos e seletivos no 8º e 10º anos após o plantio.

O clima da região é classificado como tropical do tipo Aw, segundo Köppen, caracterizado por invernos secos com baixa umidade e verões chuvosos. A precipitação anual varia entre 1.600 e 1.900 mm, com temperaturas médias entre 24 °C e 27 °C.

Para a análise, foram selecionadas 9 árvores, das quais foram extraídos quatro discos por árvore, representando o início e fim de cada tora comercial. Os discos foram coletados nas alturas de 0,1 m (base da árvore), 2,7 m, 5,4 m e 8,1 m do tronco. As árvores foram distribuídas em três classes diamétricas, conforme inventário florestal prévio: Classe I (Diâmetro à Altura do Peito – DAP = 25,9 – 34 cm); Classe II (DAP = 34 – 42 cm); e, Classe III: (DAP = 42 – 51,5 cm). As informações das árvores selecionadas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Informações dendrométricas das árvores de *Tectona grandis* avaliadas neste estudo

Classes diamétricas (cm)	DAP médio (cm)	Ht média (m)
I	31,7	21,6
II	37,7	22,7
III	44,5	22,9

Os discos foram lixados com uma lixadeira de cinta (lixa de grão 100), a fim facilitar a visualização da transição entre cerne e alburno. Em seguida, cada disco foi fotografado com o auxílio de uma câmera fotográfica. As imagens obtidas foram processadas no programa ImageJ. Foram realizadas medições do diâmetro do cerne e do diâmetro total dos discos (desconsiderando a casca). A distinção entre cerne e alburno foi feita a olho nu, com base na diferença de coloração natural. Para determinar a porcentagem de cerne, foi calculada a razão entre a área ocupada pelo cerne e a área total do disco, multiplicando-se o resultado por 100.

Para a análise dos dados, avaliou-se a influência da altura ao longo do fuste e das classes diamétricas sobre o diâmetro do cerne. A análise estatística foi conduzida por meio da análise de variância (ANOVA), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) no software R, versão (4.3.1). Para verificar a validade dos pressupostos da ANOVA, aplicaram-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett, adotando-se o nível de 5% ($p < 0,05$). Quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (Tukey HSD). Além disso, foi realizada análise de regressão para a variação do diâmetro do cerne em função da altura e da classe diamétrica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes estatísticos indicaram que os fatores classe diamétrica e altura influenciaram significativamente a variação dos diâmetros total e de cerne e porcentagem de cerne, contudo, de forma independente ($p < 0,05$) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Valores médios de Diâmetro Total, Diâmetro de Cerne e Porcentagem de Cerne de árvores de *Tectona grandis* em função da classe diamétrica, independentemente da posição longitudinal

Classe Diamétrica	Diâmetro Total (cm)	Diâmetro do Cerne (cm)	Cerne (%)
I	22,01 c	16,27 c	53,25 b
II	31,03 b	24,85 b	63,40 a
III	35,15 a	28,70 a	65,96 a

Legenda: Letras iguais, na coluna, indicam igualdade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observou-se que no diâmetro total e cerne (Tabela 2), a classe diamétrica influenciou significativamente, com variações de 37,4% e 43,3%, respectivamente. Isso já era esperado porque povoamentos de mesma idade podem ter significativa variação diamétrica entre árvores, com árvores dominantes apresentando maior diâmetro e maior proporção de cerne (OLIVEIRA et al., 2011). A variação pronunciada em incremento diamétrico está diretamente relacionada à competição por recursos, por ser mais evidente em indivíduos dominantes, que alocam maior volume de madeira (ASSMANN, 1970; SILVA, 2014). Entretanto, para a porcentagem de cerne entre as Classes II e III, não obtivemos variação significativa, diferindo apenas da Classe I.

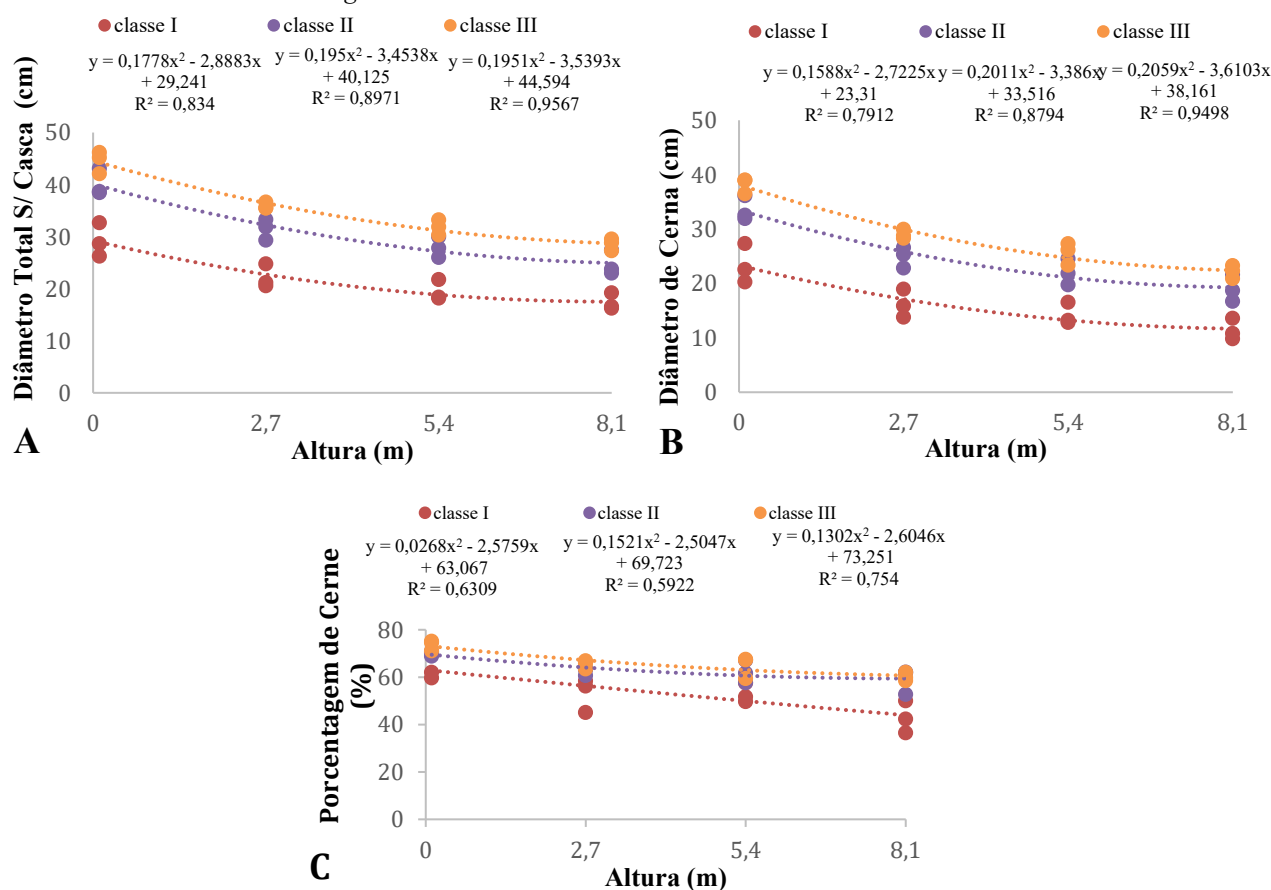
Tabela 3: Valores médios de Diâmetro Total, Diâmetro de Cerne e Porcentagem de Cerne de árvores de *Tectona grandis* em função da posição longitudinal, independentemente da classe diamétrica

Altura (m)	Diâmetro Total (cm)	Diâmetro do Cerne (cm)	Cerne (%)
0,1	37,88 a	31,66 a	69,16 a
2,7	29,82 b	23,36 b	60,39 b
5,4	26,36 c	20,58 b	59,94 b
8,1	23,51 d	17,49 c	54,00 c

Ocorreu uma gradativa diminuição no diâmetro de total e de cerne da base para o topo das árvores (Tabela 3) indicando o afilamento natural das arvores. Em estudos de afilamento realizado por Favalessa et al. (2012), os autores observaram que árvores de maior diâmetro apresentaram maior conicidade, com redução significativa do diâmetro ao longo do fuste. A porcentagem de cerne variou de 69,16% na base (0,1 m) para 54,00% em (8,1 m) de altura. De forma semelhante, Figueiredo, (2021) observou que a porcentagem média de cerne diminuiu da base até a altura comercial, independentemente do local de plantio e da idade. Palanisamy et al., (2009) afirmaram que porcentagem de cerne se mantem entre 40 e 80% durante grande parte do ciclo da espécie.

De forma complementar, a análise de regressão observada na Figura 2.A para diâmetro total mostra que a Classe III, obteve o maior R^2 ajustado (0,9567), indicando que a precisão maior no ajuste do modelo polinomial, enquanto para a Classe I esse valor foi menor (0,834), com maior variabilidade de dados, mas ainda assim, considerado aceitável.

Figura 2: Variação do Diâmetro Total, Diâmetro do Cerne e Porcentagem de cerne ao Longo do Fuste em Diferentes Classes Diamétricas de *Tectona grandis*



A Figura 2.B e 2.C os valores seguiram a mesma tendência, com a Classe III obtendo o maior R^2 ajustado em diâmetro de cerne com (0,9498) e em porcentagem de cerne (0,754). Há uma relação entre a classe diamétrica e a formação de cerne, sendo que árvores com maiores diâmetros apresentam maior formação de cerne. Essa relação é claramente perceptível, e a conicidade do fuste torna-se mais evidente à medida que os valores diminuem com a altura (FAVALESSA et al., 2012). Dessa forma fica evidente que plantios de equiâneos podem ter variação significativa no diâmetro entre as classes e alturas. Árvores de maior porte possuem maior formação de cerne (Pelissari et al., 2013).

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que os diâmetros do cerne e total (sem casca) diminuem com a altura, evidenciando o afilamento natural do fuste. Árvores de maior porte apresentam maior proporção de cerne. Tanto a classe diamétrica quanto a posição longitudinal ao longo do fuste influenciam significativamente os diâmetros, havendo ainda uma forte relação entre o crescimento da árvore e a formação do cerne.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Mato Grosso pelo apoio à participação no evento e à TRC Resources Company pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSMANN, E. **Princípios do estudo de produtividade florestal: estudos sobre produção orgânica, estrutura, incremento e produtividade de povoamentos florestais**. Elsevier, 2013.

COSTA, L. J. et al. Qualidade da madeira de espécies florestais exóticas implantadas na Região Semiárida para produção de móveis. **Revista Eletrônica do Seminário de Iniciação Científica da UFRSA**, v. 30, n. 1, 2024.

FIGUEIREDO, F. M. **Aplicação dos anéis de crescimento-dendrocronologia-na reconstrução do crescimento do tronco de árvores de *Tectona grandis* Lf, teca, de plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FAVALESSA, C. M. C. et al. Funções de afilamento não segmentadas e segmentadas para *Tectona grandis* na região centro-sul matogrossense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 373, 2012.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244-250, 2009.

MOREIRA, M. F. et al. Teca: implantação e Produção no Brasil. **Revista Arrudea-A revista do Jardim Botânico do Recife**, v. 7, p. 73-82, 2021.

OLIVEIRA, E. B.; ARCE, J. E.; SANTANA, C. J. de O. Planejamento, análise econômica e pesquisa operacional da teca. **Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa. cap. 16. 2023.

OLIVEIRA, B. R. U. et al. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* Lf, do município de Cáceres, MT.** [dissertação].

Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2011.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento quantitativo e qualitativo de *Tectona grandis* Lf em Mato Grosso. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 371-383, 2013.

PALANISAMY, K.; HEGDE, M.; YI, J. Teak (*Tectona grandis* Linn. f.): a renowned commercial timber species. **Journal of forest and environmental science**, v. 25, n. 1, p. 1-24, 2009.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. **Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 2023.

SILVA, F. R.; SILVA, V. S. M.; MIRANDA, S. O. Crescimento de *Tectona Grandis* Em Um Uma Plantação No Município De Alta Floresta, Mato Grosso. **Floresta**, v. 44, n. 4, 2014.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; CHAVES E CARVALHO, S. D. P.; MEDEIROS, RA, & MÔRA, R. Modelagem da espessura e porcentagem de casca em árvores de *Tectona grandis* Lf. **Revista Brasileira de Ciências Florestais**, v. 39, n. 2, p. 123-135, 2019.

APLICAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NA MELHORIA DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA CASCA DE ARROZ

¹Pedro Venâncio Wate ²Tiago José Pires de Oliveira

¹Departamento de Ciências Florestais /PPCTM - Universidade Federal de Lavras

²Departamento de Engenharia Química/Universidade Federal de Lavras

*Autor correspondente (e-mail): pedrowate@yahoo.com.br pedro.wate@estudante.ufla.br

Resumo: A biomassa lignocelulósica é de grande importância para a sustentabilidade e a redução do carbono. O pré-tratamento hidrotérmico (CHT) é uma técnica que melhora a valorização dessa biomassa, permitindo a produção de bioprodutos valiosos tais como bio-óleo, combustíveis em briquetes, peletes, biofertilizantes e catalisadores. Este estudo visa investigar como o pré-tratamento hidrotérmico afeta as características energéticas da casca de arroz, que são pouco conhecidas. O processo melhora a eficiência de conversão da biomassa em processo subsequentes, reduz compostos voláteis indesejáveis, melhora o teor do carbono fixo, de hidrogênio e redução do teor de oxigênio. A casca de arroz foi triturada e submetida a diferentes temperaturas e tempo de residência de 60 minutos. O poder calorífico superior da biomassa *in-natura* foi de 17,22 MJ/kg, e após o pré-tratamento hidrotérmico, os valores aumentaram com a temperatura, alcançando até 20,03 MJ/kg. Isso demonstra que o pré-tratamento hidrotérmico melhorou a qualidade energética da casca de arroz.

Palavras-chave: Resíduos; Tratamento hidrotérmico; Lignocelulósica; Conversão; Biocombustíveis

APPLICATION OF HYDROTHERMAL PRETREATMENT IN IMPROVING THE ENERGY PROPERTIES OF RICE HUSK

Abstract: Lignocellulosic biomass is of great importance for sustainability and carbon reduction. Hydrothermal pretreatment (HTP) is a technique that improves the valorization of this biomass, enabling the production of valuable bioproducts such as bio-oil, fuel briquettes, pellets, biofertilizers, and catalysts. This study aims to investigate how hydrothermal pretreatment affects the energy characteristics of rice husks, which are poorly understood. The process improves biomass conversion efficiency in subsequent processes, reduces undesirable volatile compounds, improves fixed carbon and hydrogen content, and reduces oxygen content. The rice husks were ground and subjected to different temperatures and a 60-minute residence time. The gross calorific value of the raw biomass was 17.22 MJ/kg, and after hydrothermal pretreatment, these values increased with temperature, reaching 20.03 MJ/kg. This demonstrates that hydrothermal pretreatment improved the energy quality of rice husk.

Keywords: Waste; Hydrothermal treatment; Lignocellulosic; Conversion; Biofuels

1. INTRODUÇÃO

Diante da intensificação dos impactos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa, o agravamento do aquecimento global e a degradação da qualidade do ar, torna-se imperativo e inadiável o desenvolvimento de alternativas energéticas limpas, renováveis e sustentáveis, capazes de substituir gradualmente as

fontes fósseis na matriz energética global, como forma de mitigar os impactos das mudanças climáticas e reduzir os níveis de poluição ambiental. Neste contexto, a bioenergia derivada da biomassa tem se consolidado como uma das principais áreas de pesquisa em escala global (Li et al., 2024; Xu et al., 2024), devido à sua sustentabilidade, ampla disponibilidade geográfica, baixo custo e renovabilidade.

A utilização de processos hidrotérmicos para converter biomassa em biocombustível é vantajosa em comparação com outros processos termoquímicos. Uma vantagem do processamento hidrotérmico é que, ao contrário da pirólise ou gaseificação, a biomassa utilizada não precisa ser seca antes do processamento, reduzindo o consumo geral de energia (Tezer et al., 2022).

O pré-tratamento hidrotérmico tem se destacado como uma técnica eficaz para modificar a estrutura da biomassa, promovendo a remoção de compostos indesejáveis e melhorando características como o poder calorífico e a reatividade. Este estudo visa investigar como esse método pode potencializar o uso energético da casca de arroz, contribuindo para uma valorização mais eficiente desse resíduo agrícola.

Este trabalho visa avaliar o uso da CHT como estratégia para melhorar as propriedades energéticas da casca de arroz – resíduo agrícola abundante e de baixo valor agregado. Estima-se que o Brasil produz anualmente cerca de 11 a 13 milhões de toneladas de arroz em casca, gerando aproximadamente 2,2 a 2,6 milhões de toneladas resíduo de casca de arroz (EMBRAPA, 2023). Esse volume significativo representa um passivo ambiental, mas também uma oportunidade estratégica para conversão energética regional e industrial.

O estudo comprovou que a CHT melhorou as propriedades energéticas aumentando o poder calorífico superior (PCS) de 17,22MJ/kg da casca de arroz não tratada para 20,03MJ/kg da tratada a 240 °C, indicando maior densidade energética, destacando essa técnica como uma solução prática e escalável para a produção de biocombustíveis, o que pode promovendo geração descentralizada de energia, agregando valor à cadeia agrícola e redução dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado desse resíduo lignocelulósico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e caracterização da biomassa

A casca de arroz utilizada neste trabalho, foi obtida em uma mini descascadora local de arroz na cidade de Lavras, Minas Gerais. Uma das primeiras tarefas, que foi realizada foi medir umidade da casca de arroz em seguida os resíduos foram triturados e peneirados para obter partículas uniformes de 40, 60, 200 e 270 *mesh*. Em seguida as amostras foram armazenadas em sacos plásticos selados e depositados em um dessecador até a realização dos experimentos.

Para às análises químicas utilizou-se a fração passante pela peneira de 40 *mesh* e retida na peneira de 60 *mesh*; já nas análises de poder calorífico foram utilizadas as frações passantes pela peneira de 200 e retida na peneira de 270 *mesh*.

2.2. Pré-tratamento hidrotérmico

As reações pré-tratamento hidrotérmicas foram realizadas em um reator modelo Biofoco RUPMO 300 mL de aço inoxidável. Para analisar o efeito das diferentes condições de operação na biomassa, os experimentos foram realizados em diferentes temperaturas e taxas de aquecimento (180°C e T. A = 1,5°C/min; 200°C e T. A = 1,9°C/min; 220°C e T. A = 0,98°C/min e 220°C e T. A

= 0,98°C/min), o tempo de residência foi de 60 minutos. Utilizou-se uma proporção de matéria-prima água de 1:4, a pressão dentro do reator foi autógena e monitorada por transdutores de pressão.

O rendimento do hidrochar foi determinado em base seca. Inicialmente, foi determinado a umidade das amostras com o auxílio de uma balança determinadora de umidade (Weblaborsp 160G i), posteriormente foram levadas para estufa onde ficaram a 105°C até atingir uma massa constante. Após esse período, foi determinado novamente a umidade das amostras. As umidades da biomassa e hidrochar serviram para o cálculo das massas secas utilizadas para determinar o rendimento.

2.3. Análise química estrutural

As análises foram realizadas em triplicatas, determinando-se o teor de holocelulose, lignina insolúvel e solúvel, teor de extrativos totais e porcentagem de cinzas. Os extrativos foram determinados pelo método de extração com acetona seguindo o padrão da TAPPI T280 pm-99 (2000), Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI, 2000). O teor de lignina insolúvel foi determinado pelo método de Klason modificado, de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1996), O teor de lignina solúvel foi obtido conforme a metodologia sugerida Goldschimid (1971), A determinação da porcentagem de cinzas foi obtida de acordo com a ASTM D1102-84 (2007). Para a determinação da densidade a granel usou-se a norma NBR 6922 (ABNT, 1981).

$$Text (\%) = \frac{Ms - Ms_{ext}}{Ms} \times 100 \quad (4)$$

Em que: Text: Teor de extrativo (%); Ms: Massa seca (g); Ms_{ext}: Massa seca sem extrativo (g).

$$\% L(ins) = \frac{Mr}{Ma} \times 100 \quad (5)$$

Em que: L (ins): Teor de lignina insolúvel (%); Mr: Massa do resíduo (g); Ma: Massa da amostra inicial livre de extrativos (g).

$$Lignina\ solúvel (\%) = \frac{(4,538 \times A_{215}) - A_{280}}{300 \times P} \times 100 \quad (6)$$

Em que: A₂₁₅: Absorbância obtida no comprimento de onda de 215 nm; A₂₈₀: absorbância no comprimento de onda de 280 nm; P: Massa seca da amostra livre de extrativos (g).

$$HOLO = 100 - (Tlig + Text + Tcz) \quad (7)$$

Em que: HOLO: Teor de holocelulose (%); Tlig: teor de lignina (%); Text: teor de extrativos (%); Tcz: teor de cinzas (%).

2.4 Densidade energética, carbino fixo e rendimento do carbono fixo do hidrochar

A densidade energética foi calculada usando a equação abaixo indicado.

$$DE = \frac{\text{Valor calorífico da matéria - prima}}{\text{Valor calorífico do hidrascar}}$$

O rendimento do carbono fixo foi determinado com base na equação.

$$RCF = \frac{RHidrochar * TCF}{100}$$

Para calcular o carbono fixo (CF%) da biomassa usou-se o teor de cinzas e material volátil, segundo a seguinte equação baseada na análise imediata da biomassa.

$$CF = 100 - (MV + Cz)$$

Em que: CF = Carbono fixo (% da biomassa seca), MV = Fracção da biomassa que se volatiliza na ausência de oxigénio (%) e Cz = Resíduos inorgânico que sobra após a queima (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da composição química da biomassa de casca de arroz

Na tabela 1 constam os resultados da composição química da biomassa lignocelulósica da casca de arroz in-nature a qual foi submetida a diferentes temperaturas do pré-tratamento hidrotérmico (CHT).

Tabela 1, mostra valores médios dos teores de extrativos (Text%), holoceluloses (Holo%) e lignina (Lig%) em diferentes temperaturas.

Tratamento T (°C)	Text (%)	Holo (%)	Lig (%)
<i>In-n</i>	2,03	49,02	34,89
CA180	1,56	55,5	37,89
CA200	6,36	42,65	45,96
CA220	6,02	39,17	49,77
CA240	8,99	17,07	67,90

A casca de arroz analisada apresentou a seguinte composição química: extrativos (2,03), holocelulose (49,02) e lignina (34,89). Os teores obtidos estão, em geral, de acordo com os valores reportados na literatura para este tipo de biomassa. A fração de extrativos encontra-se dentro da faixa típica de 1 a 5%, conforme relatado por Harisankar (2021). A holocelulose apresentou valor elevado, compatível com a faixa de 35 a 55% observada por Yoshida et al., (2023), sendo indicativa de um bom potencial para processos termoquímicos ou bioquímicos de conversão. O teor de lignina (34,89%) está na extremidade superior da faixa comum (20 a 35%), o que pode conferir maior recalcitrância ao material, mas também maior poder calorífico, como sugerido por Kazkov et al., (2019).

3.2. Análise de química imediata do hidrochar da casca de arroz

Os resultados da análise de química imediata da casca de arroz pré-tratada e não tratada dos efeitos do pré-tratamento hidrotérmico constam na Tabela 2. O rendimento sólido representa o quanto da casca de arroz bruto foi convertido em hidrochar durante o processo.

Tabela 2: Valores médios da química imediata da casca de arroz que foi submetida ao pré-tratamento hidrotérmico, rendimento (R%), poder calorífico superior (PCSMJ/kg), densidade energética (DE), teor de cinzas (Cz%), material volátil (MV%) e rendimento de carbono fixo (RCF%) em diferentes níveis de temperatura (T°C).

Trat (°C)	R (%)	PCS (MJ/kg)	DE	Cz (%)	MV(%)	CF (%)	RCF (%)
<i>In-n</i>	-	17.22	1	14.05	69	16,35	16.35
CA180	70	17.5	0,984	14.53	73.33	12,13	8.49
CA200	68.71	18.01	0,956	15.64	69.05	15,31	10.52
CA220	67.27	18.67	0,922	16.82	63.39	19,79	13.31
CA240	63.27	20.03	0,860	18.68	57.17	24,15	15.28

Para a análise química imediata da casca de arroz teor de cinzas (14,05%), material volátil (69%), carbono fixo (16,35%), poder calorífico superior (17,22 MJ/kg), rendimento de carbono fixo, rendimento médio do hidrochar e densidade energética do hidrochar. Os resultados encontrados, em geral, estão de acordo com os valores reportados na literatura para este tipo de biomassa. Os rendimentos médios encontram-se dentro da faixa típica de 44% a 74%, conforme relatado por Liu et al., (2023), pode variar de acordo com as condições do processo, temperatura, tempo de residência, pressão e do solvente usado. O teor de carbono fixo (24,15%) está na extremidade superior da faixa comum (12% a 25%). Estudo de Oumabady et al., (2024) relatam, que o aumento da temperatura de carbonização de 150°C para 250°C, o teor de carbono fixo aumenta de 12,47% para 25,35%, enquanto o conteúdo de material volátil diminui de 69,22 para 50,92%, tornando o hidrochar mais energético e eficiente na combustão. Por outro lado, aligeira redução do material volátil, pode exigir maior taxa de energia de ativação nos estágios iniciais da combustão. O PCS da biomassa in-natura foi de (17,22MJ/kg), e verificou-se um ligeiro aumento para (20,03MJ/kg) indicando uma melhoria na qualidade energética da casca de arroz tratada a 240 °C, Hossain et al., (2020) investigaram a produção de hidrochar de casca de arroz por meio da carbonização hidrotérmica. Os resultados mostram que o PCS da casca de arroz in natura era de 14,53MJ/kg, enquanto que o hidrochar produzido apresentou um PCS da casca de arroz de 20,27 MJ/kg, indicando um aumento significativo no valor energético após o tratamento.

Por outro lado, o teor de cinzas (14,05%) foi levemente inferior à média observada na literatura (15 a 25%), o que pode ser atribuído à variedade do arroz, às condições edafoclimáticas ou ao pré-tratamento do resíduo (Shanmugam et al., 2025), os autores salientam ainda que, este valor relativamente mais baixo pode ser vantajoso em processos de combustão ou pirólise, uma vez que reduz problemas relacionados à formação de escórias e incrustações associadas ao elevado teor de sílica normalmente presente nesse tipo de resíduo.

Durante o processo CHT, várias reações ocorrem sequencialmente ou simultaneamente, incluindo hidrólise, descarboxilação, desaminação, desidratação, aromatização e polimerização, Roslan et al., (2025) resultando na remoção efetiva do hidrogênio e o oxigênio, resultando em um

material mais rico em carbono com maior densidade de energia. A menor razão H/C indica uma diminuição no conteúdo volátil, o que melhora a estabilidade térmica do hidrochar, enquanto a menor razão O/C indica uma diminuição de grupos funcionais contendo oxigênio, o que aumenta seu valor calorífico. Estas mudanças aumentaram o potencial do hidrochar como combustível sólido, aproximando suas propriedades do carvão sub-betuminoso e aumentando sua adequação para geração de energia, vários pesquisadores salientam que um rendimento maior pode ser obtido em temperaturas e tempos mais baixos. Além disso, o incremento do teor de carbono fixo (CF) e a diminuição de material volátil (MV) nas amostras de hidrochar indicam uma maior concentração de carbono disponível para a combustão, o que é desejável para biocombustíveis. Os resultados mostraram ainda que o hidrochar pré-tratada há 240 °C, apresentou um carbono fixo de 24,15% e material volátil de 57,17% em comparação com 16,35% e 69%, respectivamente na biomassa in-nature. Chen et al., (2021) salienta que essa transformação química é crucial para a eficiência energética, pois a diminuição da hemicelulósica e a melhoria na acessibilidade da celulose e lignina facilitando a conversão da biomassa da casca de arroz em biocombustível, como etanol e biogás.

4. CONCLUSÃO

O estudo comprovou que o pré-tratamento hidrotérmico melhora significativamente as propriedades energéticas da casca de arroz. O poder calorífico superior (PCS) aumentou de 17,22MJ/kg para 20,03MJ/kg a 240 °C, indicando maior densidade energética. Houve também redução do material volátil (de 69% para 57,17%) e aumento do carbono fixo (de 16,35% para 24,15%), fatores que elevam a eficiência térmica e a combustibilidade da biomassa tratada. Apesar do aumento do teor de cinza residual (atingindo 18,68%), o processo foi eficaz para otimizar a biomassa lignocelulósica, tornando-a mais adequada para usos energéticos, como combustível e gaseificação.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA –Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Aproveitamento energético de resíduos agro-industriais: Casca de arroz como recurso para bioenergia*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroenergia>. Acesso em 10 jul. 2025.

O. Tezer, N. Karabağ, A. Öngen, et al., *Biomass gasification for sustainable energy production: a review*, Int. J. Hydrog. Energy 47 (2022) 15419–15433, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.158>

L. Xu, M.F. Cao, J.F. Zhou, Y.X. Pang, Z.X. Li, D.J. Yang, S.Y. Leu, H.M. Lou, X. J. Pan, X.Q. Qiu, *Aqueous amine enables sustainable monosaccharide, monophenol, and pyridine base coproduction in lignocellulosic biorefineries*, Nat. Commun. 15 (2024) 734.

Li, J.; WANG, Y.; ZHANG, H.; ZHOU, Y. *Recent advances in hydrothermal liquefaction of biomass for biofuel production: Feedstock, catalysts, and upgrading strategies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, [S.I.], v. 179, p. 114139, 2024. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.1141139>.

Liu, Zhengang, Augustine Quek, S., Hoekman, Kent, Balasubramanian, R., 2013. *Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization*. Fuel 103, 943–949.

Roslan, S.Z.; Zainudin, S.F.; Mohd Aris, A.; Chin, K.B.; Musa, M.; Mohamad Daud, A.R.; Syed Hassan, S.S.A. *Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge into Solid Biofuel: Influences of*

Process Conditions on the Energetic Properties of Hydrochar. Energies 2023, 16, 2483.
<https://doi.org/10.3390/en16052483>

S. Oumabady, S.K. Bhardwaj, S.P. Ramasamy, S.U. Dandare, R. Sakrabani, R. Doherty, S.Nanukuttan, D. Kumaresan. *Thermochemical characterisation of hydrochar from agricultural waste and its efficiency as a supplement with solid fuel*. Biomass Bioenergy 187 (2024) 107299.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2024.107299>.

Harisankar, S., Prashanth, P. F., Nallasivam, J., Mohan, R. V., & Vinu, R. (2021). *Effects of aqueous phase recirculation on product yields and quality from hydrothermal liquefaction of rice straw*. Bioresource Technology, 342, 125951

Yoshida, T. et al. *Progress on Separation and hydrothermal Carbonization of Rice Husk Toward Environmental Applications*. Frontiers in Energy Research, v. 10, 2023

Kazkov, A. S.: et al. Rice Husk Hydrolytic Lignin Transformation in Carbonization Process. Molecules, v. 24, n. 17, p. 3075, 2019.

VARIAÇÃO LONGITUDINAL DA PRODUÇÃO DE CERNE EM ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. DE UMA PLANTAÇÃO COMERCIAL NO PARÁ

Letícia Seles de Carvalho^{1*}; Maria Eduarda Aguillar Coelho¹; Katriele Muniz Alves¹; Waldelaine Rodrigues Hoffmann²; Bárbara Luísa Corradi Pereira³; Aylson Costa Oliveira³

¹ Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

² Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): leticiaseles15@gmail.com

Resumo: A formação do cerne está relacionada ao crescimento da árvore, bem como às variações climáticas e à disponibilidade hídrica. O presente estudo avaliou o diâmetro total, o diâmetro do cerne e a porcentagem de cerne ao longo do fuste de árvores de *Tectona grandis* pertencentes a três classes diamétricas. A pesquisa foi conduzida em uma plantação comercial no Pará, com árvores clonais de aproximadamente 15 anos. Foram analisadas nove árvores, divididas em três classes diamétricas: classe I, de 27,8 a 33,8 cm de DAP, classe II, de 33,8 a 39,9 cm de DAP e classe III, de 39,9 a 49,9 cm de DAP, representativas do povoamento. Foram coletados discos em quatro alturas e analisados por meio de imagens no software ImageJ. Os resultados indicaram que a classe diamétrica e a altura influenciam significativamente os parâmetros avaliados, de forma independente. Observou-se redução de 35,3% no diâmetro do cerne da base ao topo, devido ao afilamento. Apesar da redução no diâmetro com a altura, a proporção de cerne ao longo do fuste manteve-se relativamente constante. A Classe I apresentou os maiores percentuais de cerne, mesmo com menor diâmetro total.

Palavras chave: Teca; classes diamétricas; altura; plantações de rápido crescimento.

LONGITUDINAL VARIATION IN HEARTWOOD PRODUCTION IN *Tectona grandis* L.f. TREES FROM A COMMERCIAL PLANTATION IN PARÁ

Abstract: The formation of the heartwood is related to the growth of the tree, as well as to climatic variations and water availability. This study evaluated the total diameter, heartwood diameter, and heartwood percentage along the stem of *Tectona grandis* trees belonging to three diameter classes. The research was conducted in a commercial plantation in Pará, with clonal trees approximately 15 years old. Nine trees were analyzed, divided into three diameter classes: class I, from 27.8 to 33.8 cm DBH, class II, from 33.8 to 39.9 cm DBH and class III, from 39.9 to 49.9 cm DBH, representative of the population. Discs were collected at four heights and analyzed through images using the ImageJ software. The results indicated that diameter class and height significantly influence the evaluated parameters independently. A 35.3% reduction in heartwood diameter from base to top was observed, due to tapering. Despite the reduction in diameter with height, the proportion of heartwood along the stem remained relatively constant. Class I showed the highest heartwood percentages, even with smaller total diameters.

Keywords: Teak, diameter classes, height, and fast-growing plantations.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo de *Tectona grandis* já ocupa cerca de 99 mil hectares, principalmente nos estados de Mato Grosso, Pará, Acre, Goiás e Rondônia (SANTOS et al., 2023). A espécie se adapta bem às condições edafoclimáticas locais, com solos profundos e bem drenados, temperatura média superior a 22°C e precipitação anual acima de 1500 mm e estações secas e chuvosas bem definidas (SANTOS et al., 2023). Além disso, o cultivo comercial de teca no Brasil é uma oportunidade de investimento devido à alta demanda, principalmente de países asiáticos, e ao valor agregado da madeira (DAMAYANTI et al., 2019).

O cerne da teca é conhecido pela sua cor marrom dourada, muito apreciada no mercado global de madeira sólida. Madeiras com maior porcentagem de cerne são preferidas para construção civil e móveis, além da cor, devido à sua durabilidade natural (MIRANDA et al., 2007). A formação do cerne está relacionada ao crescimento da árvore, bem como às variações climáticas e à disponibilidade hídrica.

Em regiões áridas, o estresse hídrico acelera a conversão do albúrnio em cerne, como forma de regulação hídrica da árvore. Esse fator climático influencia diretamente a proporção de cerne na madeira de teca, que tende a ser maior em ambientes secos. Como o cerne possui maior valor comercial, a escolha do local de cultivo e o manejo adequado tornam-se decisivos para a produção de madeira de alta qualidade (DAMAYANTI et al., 2019).

Diante disso, objetivou-se com o presente estudo avaliar o diâmetro total e de cerne, bem como a porcentagem de cerne ao longo do fuste de árvores de *Tectona grandis* de três classes diamétricas de uma plantação comercial localizada no Pará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com madeira de *Tectona grandis* L. f., proveniente de uma plantação comercial da empresa Teak Resources Company, com material genético denominado Clone A. As árvores foram cultivadas em sistema de monocultura, em espaçamento de 4x4 metros, plantado em outubro de 2008, no município de Santa Maria da Barreira, no estado do Pará. Ademais, ocorreram desbaste nos anos de 2015, 2017 e 2021. A coleta do material ocorreu em julho de 2024, quando as árvores tinham aproximadamente 15 anos de idade.

A partir do inventário florestal fornecido pela empresa, as árvores foram distribuídas em três classes diamétricas. Dessas classes, foram selecionadas nove árvores, sendo três de cada classe diamétrica (Tabela 1). Este número de árvores, atende o mínimo para análise estatísticas e foi o quantitativo mínimo que a empresa pode doar considerando o baixo número de árvores por hectares (250 árv./ha). Durante a seleção em campo, foram excluídas árvores que apresentavam defeitos visuais, como ataque de patógenos e bifurcação, bem como as árvores das bordas do povoamento.

Tabela 1: Informações dendrométricas do material de estudo

Classe diamétrica	Classe de diâmetro (cm)	DAP médio	HC	HT
I	27,8 – 33,8	32,2 ^(0,93)	11,0 ^(0,7)	22,8 ^(1,5)
II	33,9 – 39,9	36,7 ^(1,87)	12,5 ^(1,0)	23,1 ^(1,5)
III	40,0 – 49,9	40,6 ^(0,19)	12,4 ^(0,6)	23,2 ^(1,4)

Legenda: (...) Desvio Padrão; DAP: Diâmetro à Altura do Peito; HC: Altura Comercial, quando diâmetro do fuste era igual a 8 cm; HT: Altura Total.

De cada árvore, foi retirado um disco de aproximadamente 5,0 cm de espessura nas seguintes posições (discos que compõe as três primeiras toras comerciais): 0,1 m (base), e topo de cada tora, correspondendo às alturas de 2,7 m, 5,4 m e 8,1 m.

Os discos coletados foram lixados com lixadeira de cinta (100 grãos). Posteriormente, os discos foram fotografados com máquina digital, juntamente com uma escala de 1 cm x 1 cm, utilizada para calibração. Com auxílio do software de análise de imagens ImageJ (RASBAND, 2018), utilizando calibração de 1 cm, foram realizadas medições do diâmetro do cerne e diâmetro total sem casca. A delimitação das regiões foi feita macroscopicamente, pois a teca apresenta diferenciação de alburno e cerne pela alteração da cor. A porcentagem de cerne foi obtida pela razão entre a área de cerne, e a área total de cada disco, multiplicada por 100.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial com dois fatores (classe e altura).

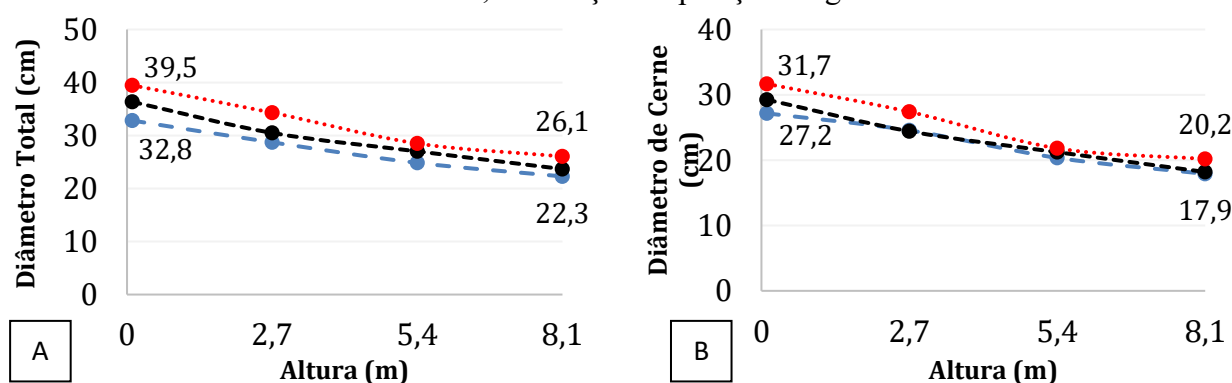
Os resultados das análises foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando diferenças significativas foram estabelecidas (valor de $p < 0,05$), o teste de Tukey foi realizado. As análises foram realizadas utilizando o software R, versão 4.3.1.

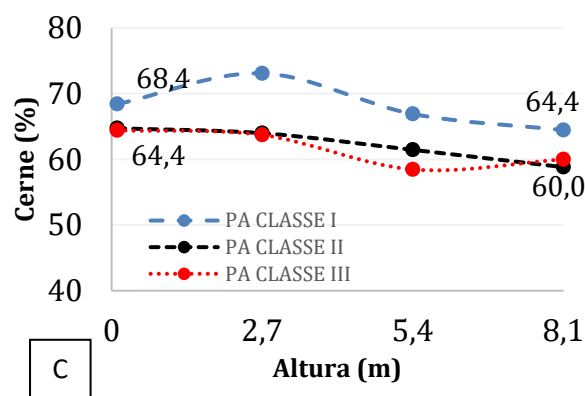
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra a relação entre a posição longitudinal e os valores médios de diâmetro total, de cerne e porcentagem de cerne para três classes diamétricas avaliadas.

Comparando os diâmetros do cerne entre a Classe I (menores diâmetros) e a Classe III (maiores diâmetros), observa-se uma diferença de aproximadamente 14,2% na base das árvores (0,1 m de altura) e de 11,4% na altura de 8,1 m. Ao comparar os valores de diâmetro do cerne entre a base e a altura de 8,1 m, observa-se uma redução de 35,3%, resultante do afilamento. Os resultados indicaram homogeneidade ao longo do fuste, assim como encontrado por LEMOS et al. (2019), em que o material clonal estudado possui regularidade na produção de cerne, com um coeficiente de variação de 14,57%.

Figura 1: Valores médios de (A) diâmetro total, (B) diâmetro de cerne e porcentagem de cerne (C) das árvores das três classes diamétricas, em função da posição longitudinal



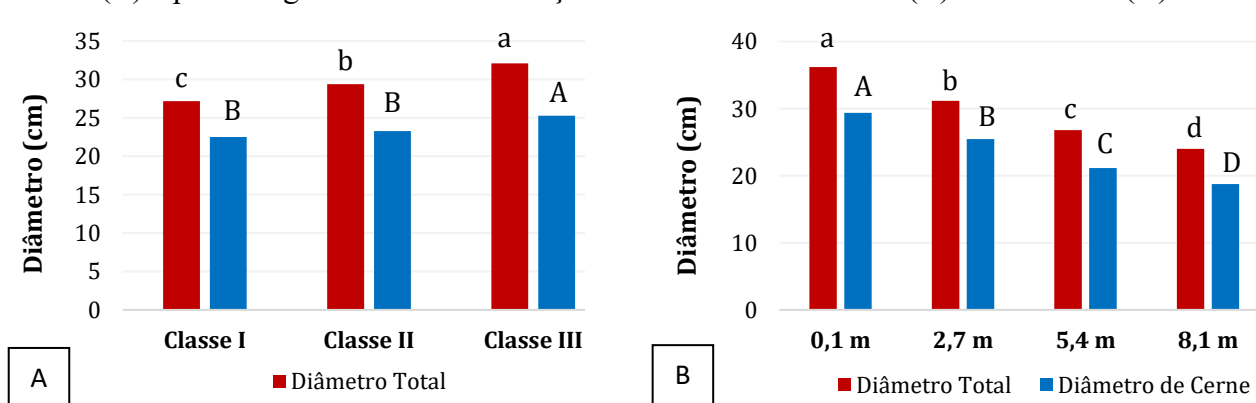


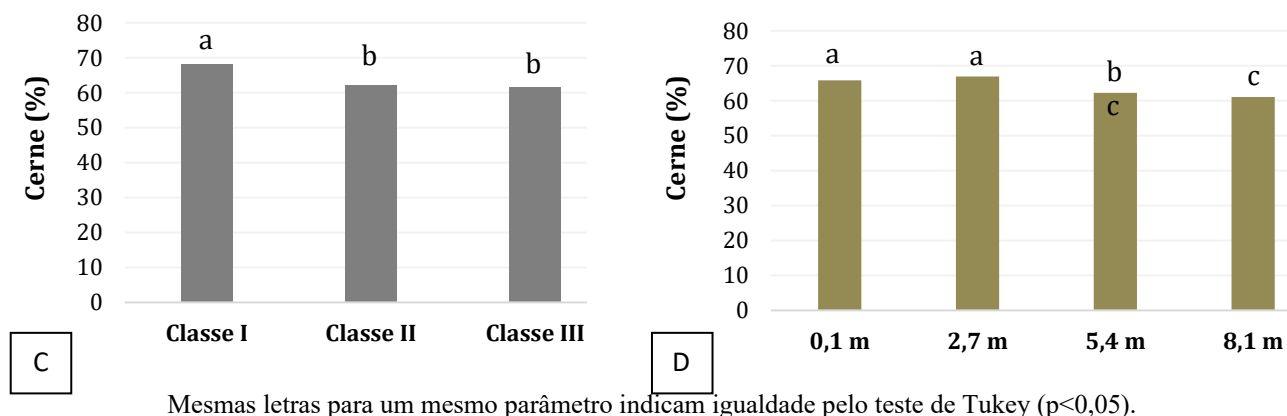
As três classes diamétricas apresentaram variações relativamente pequenas na proporção de cerne ao longo do fuste, entre 64,4 e 68,4% na base e 60,0 e 64,4% na altura de 8,1 m. No geral, a variação longitudinal média entre as classes foi de 6,3%, indicando uma boa uniformidade na proporção de cerne ao longo do tronco.

Os fatores classe diamétrica e altura da árvore possuem efeito significativo nos diâmetros total e o diâmetro de cerne, bem como na porcentagem de cerne, todavia, de forma independente, sem interação significativa entre os fatores. Os resultados da análise estatística são apresentados na Figura 2.

Os valores de diâmetro do cerne são influenciados pela classe diamétrica, sendo que quanto maior for o diâmetro total, maior o diâmetro de cerne (Figura 2a), independentemente da posição longitudinal, conforme também observado por Yang et al. (2020). Além disso, todos os níveis de altura apresentaram diferenças significativas entre si, indicando que, ao longo do fuste da árvore, os valores de diâmetro total e do cerne diminuem de forma significativa (Figura 2b), resultado também reportado por Souza et al. (2024).

Figura 2: Valores médios de diâmetro total e de cerne em função das classes diamétricas (A) e das alturas (B) e porcentagem de cerne em função das classes diamétricas (C) e das alturas (D)





A Classe I, caracterizada pelos menores diâmetros total e de cerne, apresentou, as maiores porcentagens de cerne, com média de 68,2% (Figura 1c). Isso pode ser explicado pois à medida que o tronco das árvores cresce, principalmente nas classes 2 e 3, ocorre o aumento da espessura do alburno, o que reduz proporcionalmente o espaço ocupado pelo cerne, mesmo que seu diâmetro absoluto também aumente. Em árvores menores, o alburno ainda é pouco desenvolvido, fazendo com que o cerne represente uma fatia maior do diâmetro total. Assim, a maior porcentagem de cerne observada nas árvores da Classe I se dá ao seu diâmetro total reduzido e à menor presença de alburno, enquanto nas árvores maiores, o crescimento do alburno diminui a proporção relativa do cerne. Ademais, as árvores de teca possuem maior porcentagem de cerne nas alturas de 0,1m e 2,7m; e as menores porcentagens se encontram em 8,1 m, com 61,8% (Figura 2d).

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a classe diamétrica e a altura influenciam significativamente os diâmetros total e de cerne, bem como a porcentagem de cerne, embora de forma independente. Apesar da redução no diâmetro com a altura, a proporção de cerne ao longo do fuste manteve-se relativamente constante, o que pode possibilitar o aproveitamento do maior número de toras para o processamento da teca e maior valorização pelo mercado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Mato Grosso pelo apoio à participação no evento e à TRC Resources Company pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- DAMAYANTI, R.; ILIC, J.; OZARSKA, B. et al. Efeito do clone e dos locais nas propriedades da madeira de teca de crescimento rápido e determinação do melhor clone para cultivo futuro nas indústrias de plantação de teca. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 359, n. 1, 2019.
- LEMO, J. A. dos S.; MENDES, M. C. da S.; MADI, J. P. S.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C. Influência do método de propagação na produção e qualidade da madeira de *Tectona grandis*. *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v. 6, n. 3, p. 761-765, 2019.
- MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; LOURENÇO, A.; PEREIRA, H. Heartwood, extractives and pulp yield of three *Eucalyptus globulus* clones grown in two sites. *Appita Journal*, v. 60, p. 485-488, 2007.

SANTOS, M. L. D.; MIGUEL, E. P.; BIALI, L. J.; SOUZA, H. J. D.; SANTOS, C. R. C. D.; MATRICARDI, E. A. T. The effect of age on the evolution of the stem profile and heartwood proportion of teak clonal trees in the Brazilian Amazon. **Forests**, v. 14, p. 1962, 2023.

SOUZA, L.; SILVA, J.; AZEVEDO, T.; MASCARENHAS, A.; ARIAS, L.; PEREIRA, B.; OLIVEIRA, A. Wood Quality of Young *Tectona grandis* L. f. Trees and Its Relationship with Genetic Material and Planting Site in Mato Grosso, Brazil. **Forests**, Basel, v. 15, n. 860, 2024.

YANG, B.; JIA, H.; ZHAO, Z.; PANG, S.; CAI, D. Horizontal and Vertical Distributions of Heartwood for Teak Plantation. **Forests**, Basel, v. 11, n. 2, 2020.

INCREMENTO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ANATÔMICAS DA MADEIRA DE *Khaya grandifoliola* C.DC.

Gabriela Mendes¹, Macksuel Fernandes da Silva¹, Mariana Pires Franco², Pedro Augusto Fonseca¹, Carlos Roberto Sette Júnior¹, Matheus Peres Chagas¹

¹ Setor de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

² Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Brasil.

*Autor correspondente: macksuel@ufg.br

Resumo: O estudo investigou a formação de anéis de crescimento e as propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Khaya grandifoliola* C.D.C aos nove anos de idade. Três árvores representativas foram selecionadas, e discos foram extraídos de cinco posições ao longo do tronco para análise. Os anéis de crescimento foram delimitados e caracterizados anatomicamente, possibilitando a mensuração do incremento radial. A densidade básica da madeira foi determinada nos sentidos longitudinal e radial (da medula para a casca), enquanto os parâmetros morfométricos das fibras foram avaliados apenas no sentido radial. Os resultados confirmaram a formação anual dos anéis de crescimento. O maior incremento radial foi observado até o quinto ano, seguido por uma redução progressiva até o nono ano. A densidade básica não apresentou variação significativa ao longo do tronco, mas aumentou de forma significativa no sentido radial, assim como os parâmetros morfométricos. As informações obtidas são relevantes para o manejo florestal e para o aproveitamento comercial da madeira dessa espécie, contribuindo para o entendimento do seu desenvolvimento e potencial de uso.

Palavras chave: Dendrocronologia; Qualidade da madeira, Mogno africano

INCREMENT AND PHYSICAL AND ANATOMICAL PROPERTIES OF *Khaya grandifoliola* C. DC. WOOD

Abstract: The study analyzed the formation of growth rings and the physical and anatomical properties of *Khaya grandifoliola* C.D.C wood at 9 years of age. Three representative trees were selected, and discs were obtained from five longitudinal positions along the trunk for analysis. The growth rings were anatomically characterized, delimited, and measured, allowing the determination of the trees' radial increment. Basic density was determined in both the longitudinal and radial directions (pith to bark), while fiber morphometric parameters were assessed only in the radial direction. The results indicated that the growth rings have annual formation. The radial increment of the trees was higher up to the 5th year, followed by a decrease until the 9th year. Basic density did not vary significantly among the longitudinal positions along the trunk. In the radial direction, there was a significant increase in both density values and morphometric parameters. This study provides important information for the management and commercial use of this species' wood.

Keywords: Dendrochronology; Wood quality; African mahogany

1. INTRODUÇÃO

Atender às demandas do mercado florestal exige pesquisas científicas que garantam produtos de maior qualidade, tornando essencial o conhecimento detalhado das espécies de interesse econômico. A densidade da madeira é um dos principais indicadores de qualidade, variando conforme a espécie, indivíduo e posição na árvore (radial e longitudinal), influenciando diretamente seu uso (BARRICHELO, 1982). A anatomia da madeira está ligada às suas propriedades físicas e químicas, sendo a transição entre lenho juvenil e adultos crucial, pois o primeiro possui menor densidade,

elementos anatômicos de menores dimensões e resistência reduzida (LARSON *et al.*, 2001). Neste contexto, a dendrocronologia, ciência que estuda os anéis de crescimento, permite avaliar as mudanças nas propriedades - e qualidade - da madeira em séries cronológicas anuais (GRISSINO-MAYER, 1996). Dentre as espécies de alto valor comercial, o mogno africano (*Khaya* spp.) destaca-se na indústria moveleira, naval e construção civil. No Brasil, a área plantada com o mogno africano vem sendo cultivado com sucesso (PINHEIRO *et al.*, 2011). O estudo analisou o crescimento em diâmetro e a propriedades físicas e anatômicas da madeira, associadas à sua qualidade, de árvores de *Khaya grandifoliola* aos 9 anos de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um plantio comercial de *Khaya grandifoliola* C.DC (Meliaceae), localizado em Perdizes, MG (19°21'10"S, 47°17'34"W), em área caracterizada por clima Cwb (classificação Köppen), altitude média de 1000 m e predomínio de Latossolo Vermelho Escuro. Três árvores representativas (denominadas A, B e C) com nove anos de idade, DAP médio de 22,53 cm e altura média de 16,5 m foram selecionadas em um plantio com espaçamento 5×5 m. De cada árvore foram retirados discos nas posições longitudinais correspondentes a 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, definida como a primeira bifurcação ou ponto com diâmetro aproximado de 6 cm.

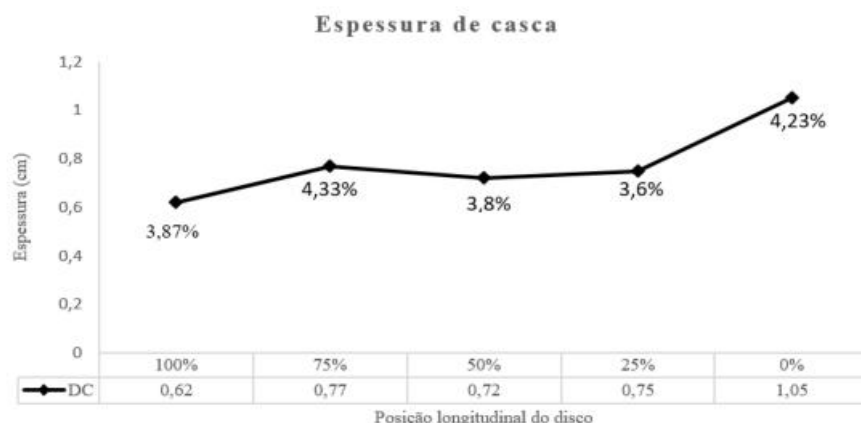
A densidade básica da madeira foi determinada conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003), considerando-se as direções longitudinal (nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial) e radial (no disco da base, nas posições 0%, 50% e 100%, no sentido medula-casca).

Para a determinação do crescimento radial do tronco e da espessura de casca, os discos foram seccionados em 4 raios perpendiculares, tiveram sua seção transversal polida e digitalizada e as mensurações realizadas por meio de análise de imagem (Image Pro Plus). Os anéis de crescimento foram caracterizados anatomicamente e delimitados em microscópio estereoscópico. Para a análise morfométrica de fibras adotou-se o método de Franklin no preparo das amostras. Os parâmetros de fibras mensurados foram o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede (IAWA, 1989). Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA e ao teste de comparação de média (Tukey; 5%) no software Sisvar 5.6.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espessura da casca variou significativamente ao longo do tronco, com menores valores no topo (0,62 cm) e maiores na base (1,05 cm). Observou-se uma tendência de estabilização dos valores entre as posições 75, 50 e 25% (Figura 1). Essas diferenças estão alinhadas com as expectativas para gradientes verticais em árvores, sendo influenciadas por fatores como a idade e altura de medição (FOELKEL, 2010).

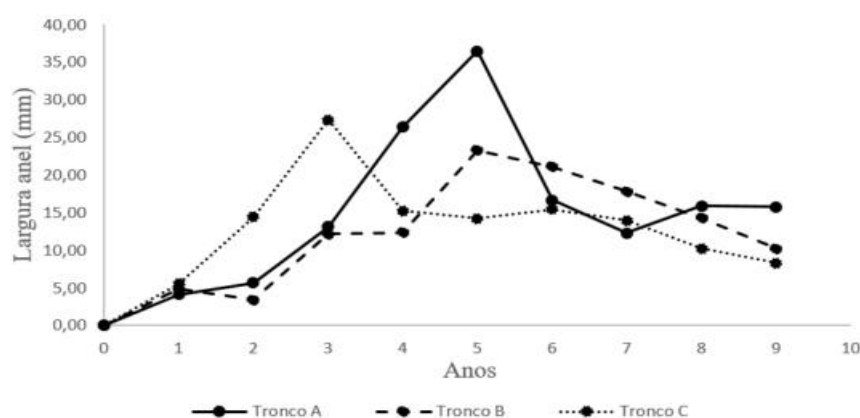
Figura 1. Valores de espessura de casca ao longo da posição longitudinal do tronco das árvores de *Khaya grandifoliola*.



Segundo Foelkel (2010), a espessura da casca é menor no topo devido à maior atividade metabólica no local, enquanto na base é maior por acumular camadas protetoras ao longo dos anos.

A madeira de *K. grandifoliola* apresentou anéis de crescimento distintos, demarcados pela presença de zona fibrosa associada ao parênquima axial marginal, próximo ao seu limite. Falsos anéis foram observados, possivelmente formados por variações ambientais como chuvas e secas atípicas para o período do ano ou dormência foliar. A análise dendrocronológica do disco da base confirmou a idade das árvores, nove anos, condizente com a informação obtida no momento da coleta das amostras. Observou-se maior sincronismo no crescimento radial entre as árvores B e C (Figura 3).

Figura 3. Largura dos anéis de crescimento das árvores de *K. grandifoliola* ao longo de 9 anos

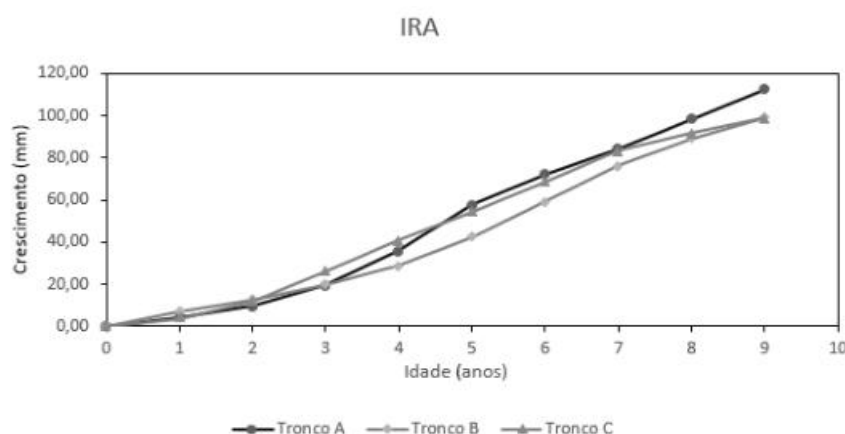


Segundo Brown (2003), a sincronia no crescimento resulta de condições ambientais semelhantes e uniformidade específica. A largura média dos anéis foi de 14,47 mm, com aumento progressivo dos valores até o 4º ano. A árvore destacou-se das demais entre o 2º e 6º ano de crescimento, possivelmente por seu maior diâmetro e microambiente favorável. Após esse período, houve uma diminuição na largura dos anéis das três árvores, possivelmente por conta da idade do câmbio vascular associada a competição entre as árvores por fatores do meio. As variações na largura e os falsos anéis registrados no presente trabalho podem ser por eventos ambientais passados (MEDEIROS, 2005), comprovando a sensibilidade da espécie a fatores ecológicos.

As árvores A e B apresentaram crescimento radial similar, enquanto C variou distintamente. Nos 4 primeiros anos, o crescimento radial médio acumulado foi de 35,17 mm, aumentando para 103,54 mm de raio médio anual no nono ano (Figura 4). Segundo Chagas (2009), o IRA (Incremento Radial Anual) é crucial para avaliar o lenho e planejar operações florestais, permitindo estimar ganhos madeiráveis e eficiência de manejo. A integração dos parâmetros (casca, anatomia e crescimento)

fornece um sistema completo de monitoramento. Quedas no incremento entre o 5º e 6º ano indicaram períodos críticos para intervenções, como por exemplo, desbastes, otimizando a produção.

Figura 4. Incremento radial acumulado (IRA) das árvores de *K. grandifoliola* aos 9 anos de idade.



A densidade básica média dos discos das diferentes posições longitudinais foi de 0,451 g cm⁻³, sem diferenças significativas entre alturas. A base (0%) registrou o maior valor, com redução nas posições intermediárias (25, 50 e 75%) e leve aumento no topo (100%) (Tabela 1).

Valores mais elevados de densidade na base é resultado de processos fisiológicos e atividade cambial (SETTE Jr *et al.*, 2012), enquanto os valores elevados no topo podem refletir a influência da copa na anatomia da madeira (VALE *et al.*, 1999). Observou-se um aumento da densidade básica no sentido radial do tronco (0,433 g cm⁻³ na posição 0%, 0,458 g cm⁻³ na posição 50% e 0,537 g.cm⁻³ na posição 100%), com diferença significativa entre as posições 0 e 100%. O valor médio dos discos da base foi de 0,464 g cm⁻³.

Este padrão reflete o menor crescimento radial inicial (KOUBAA *et al.*, 2005). A densidade média obtida classifica a madeira como leve (<0,50 g.cm⁻³), adequada para móveis e acabamentos (CARVALHO *et al.*, 2010). A transição madeira juvenil-adulto ocorre entre 13-14 cm radiais (SILVA, 2014).

Tabela 8. Valores médio de densidade básica média no sentido longitudinal do tronco das árvores de *K. grandifoliola* aos 9 anos de idade.

Posição longitudinal (%)	Densidade básica (g/cm ³)
0	0,476 a
25	0,432 a
50	0,425 a
75	0,458 a
100	0,462 a
Média	0,451
CV (%)	5,33

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância

O comprimento, a largura e a espessura da parede das fibras variam significativamente nas posições radiais (0%, 50%, 100%) avaliadas (Tabela 2), com tendência de aumento no sentido medula-casca, assim como se observou para a densidade básica (Tabela 1). O mesmo padrão não foi observado para o parâmetro para diâmetro do lume, cujos valores se mantiveram estáveis.

Tabela 2. Valores médio de comprimento, largura, diâmetro de lume e espessura de parede das fibras da madeira das árvores de *K. grandifoliola*, aos 9 anos de idade e nas 3 diferentes posições radiais do tronco.

Posição radial (%)	Comprimento (µm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
0	820,97 c	17,36 a	11,87 a	2,74 a
50	1098,92 b	18,00 ab	12,41 a	2,79 ab
100	1282,80 a	18,75 b	12,80 a	2,97 b
Média	1067,6	18,03	12,36	2,84
C.V (%)	13,5	16,8	22,1	19,6

Aumento nos valores de parâmetros de fibras no sentido medula-casca podem indicar a formação de madeira de transição entre juvenil e adulta, relacionada com a idade do câmbio vascular. Na madeira adulta, as fibras com paredes mais espessas conferem maior rigidez (GONÇALEZ *et al.*, 2014), enquanto a madeira juvenil apresenta maior variabilidade nas propriedades celulares, resultando em menor resistência mecânica e limitações tecnológicas (CHEN; EVANS, 2004).

4. CONCLUSÃO

Aos nove anos, a madeira de *Khaya grandifoliola* apresenta densidade básica média de 0,46 g/cm³, sendo classificada como leve, o que favorece sua utilização na indústria moveleira e em acabamentos internos. O incremento radial mais expressivo ocorre até o quinto ano, indicando que intervenções de manejo, como desbastes, devem ser realizadas preferencialmente entre o quinto e o sexto ano, visando otimizar o crescimento e aumentar a produtividade. Além disso, considerando que a transição entre lenho juvenil e adulto ocorre entre 13 e 14 cm radiais, recomenda-se que o corte para uso industrial seja feito após essa fase, garantindo maior estabilidade dimensional e melhor desempenho tecnológico da madeira.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941 – **Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BARRICHELO, L.E.G. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1982. p.726-731.
- BROWN, P. M. **Introduction to dendrochronology lecture 1**: Basic terminology and concepts. Tucson: Rocky Mountain Tree-ring Research, 2003.
- CARVALHO, A.M; SILVA, B.T.B; LATORRACA, J.V.F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. chev.). **Cerne**, v. 16, s/n., p. 106-114, 2010.
- CHAGAS, M. P. Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores *Grevillea robusta* A. Cunn., *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009
- CHEN, F.; EVANS, R. A. Robust approach for vessel identification and quantification in eucalypt pulpwoods. In: Appita Annual Conference, 2004, Canberra. **Anais..** Canberra: APPITA, 2004. p.4.
- FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de papel e celulose**. Eucalyptus Online Book e

Newsletter, 2010. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf>. Acesso em 5 de março de 2025.

GONÇALEZ, J.C; SANTOS, G.L; JUNIOR, F.G.S; MARTINS, I.S; COSTA, J.A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Sci. For.**, v.42, n.101, p. 81-89, 2014.

GRISSINO-MAYER, H.D. **Ultimate tree-ring web pages**. Principles of dendrochronology.1996.

IAWA Committee IAWA (1989) List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull, 10(3), 201- 232.

KOUBAA, A.; ISABEL, N.; ZHANG, S. Y.; BEAULIEU, J.; BOUSQUET, J. Transition from juvenile to mature wood in black spruce (*Picea Mariana* (MILL.) B.S.P.). **Wood and Fiber Science**, v.37, n.3, p.445-455, 2005.

LARSON P.R.; KRETSCHMANN D.E.; CLARK A.; ISEBRANDS J.G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: Forest Products Laboratory, 2001.

MEDEIROS, J. G. S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, 2005.

PINHEIRO AL, COUTO L, PINHEIRO DT, BRUNETTA JMFC. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos africanos (*Khaya* ssp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011.

SETTE JR, C.R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012.

SILVA, J.G.M. **Qualidade da madeira serrada e demarcação do lenho juvenil e adulto do mogno africano**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acácia mangium* WILLD WOOD. **Ciência Florestal**, v.9, n.2, p.85-92, 1999.

ESTUDO ANATÔMICO DO XILEMA SECUNDÁRIO DE QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS DA FLORESTA AMAZÔNICA

Julyo Pedro Dias de Sousa¹, Waldelaine R. Hoffmann¹, Camila M. Campos¹, Michelly C. Stragliotto², Aylson C. Oliveira¹, Bárbara L. C. Pereira¹

¹ Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal Mato Grosso, Brasil.

² Laboratório de Tecnologia da Madeira e Bioprodutos, Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): julyopedrod3@gmail.com

Resumo: A identificação anatômica da madeira, embora essencial para a fiscalização ambiental, enfrenta desafios devido à grande diversidade de espécies. O objetivo deste estudo foi realizar a identificação macroscópica de quatro espécies de madeira de origem amazônica: *Amburana sp.*, *Hymenolobium sp.*, *Handroanthus sp.* e *Enterolobium sp.*, com amostras coletadas em uma indústria localizada em Colniza, Mato Grosso. A análise do parênquima axial revelou características específicas para cada espécie: *Amburana sp.* apresenta parênquima axial do tipo paratraqueal aliforme losangular e aliforme confluyente, visível sem lente de aumento; *Hymenolobium sp.* apresenta parênquima axial paratraqueal aliforme confluyente em trechos longos e curtos, com disposição oblíqua; e *Handroanthus sp.* apresenta parênquima axial paratraqueal aliforme losangular, visível com lente de 10x. Apesar das dificuldades na identificação até o nível de espécie, causadas pela similaridade anatômica entre as espécies, o estudo sugere a realização de coletas botânicas e análises microscópicas complementares para melhorar a precisão da identificação. Além disso, as espécies analisadas estão presentes em listas de espécies ameaçadas, o que destaca a importância de medidas para garantir a conservação da biodiversidade amazônica.

Palavras chave: *Amburana sp.*, *Hymenolobium sp.*, *Handroanthus sp.*, macroscopia.

ANATOMICAL STUDY OF THE SECONDARY XYLEM OF FOUR TREE SPECIES FROM THE AMAZON RAINFOREST

Abstract: Wood anatomical identification, although essential for environmental monitoring, faces challenges due to the high species diversity and the shortage of qualified professionals. The aim of this study was to perform macroscopic identification of four wood species of Amazonian origin: *Amburana sp.*, *Hymenolobium sp.*, *Handroanthus sp.*, and *Enterolobium sp.*, with samples collected from a wood industry located in Colniza, Mato Grosso. The analysis of the axial parenchyma revealed specific characteristics for each species: *Amburana sp.* presents paratraqueal axial parenchyma of the aliform losangular and aliform confluyente types, visible without magnification; *Hymenolobium sp.* presents paratraqueal axial parenchyma of the aliform confluyente type in long and short segments, with an oblique arrangement; and *Handroanthus sp.* presents paratraqueal axial parenchyma of the aliform losangular type, visible with 10x magnification. Despite the difficulties in identifying species due to the anatomical similarity between them, the study suggests conducting botanical collections and complementary microscopic analyses to improve identification accuracy. Furthermore, the analyzed species are listed as threatened, highlighting the importance of measures to ensure the conservation of Amazonian biodiversity.

Keywords: *Amburana sp.*, *Hymenolobium sp.*, *Handroanthus sp.*, macroscopy.

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é considerada um *hotspot* de biodiversidade, abrigando cerca de 10% de toda a diversidade biológica do planeta. Somente no Brasil, ela ocupa uma área de aproximadamente 4,3 milhões de km², sendo compartilhada por nove países da América do Sul. Ela desempenha funções ecossistêmicas essenciais para a manutenção dos ecossistemas, como a regulação climática e a ciclagem de nutrientes.

Apesar de sua importância ecológica e extensão territorial, a Floresta Amazônica também apresenta índices altos de desmatamento e a expansão da comercialização ilegal de madeira. Diante desse cenário, o Brasil desenvolveu diretrizes e portarias voltadas à preservação ambiental, nas quais o conhecimento anatômico da madeira pode ser uma ferramenta fundamental para órgãos responsáveis pela fiscalização, tanto no controle de cargas quanto em ações em campo. A identificação anatômica da madeira exige do especialista grande precisão técnica, pois erros nesse processo podem resultar em prejuízos.

O estudo anatômico macroscópico é amplamente utilizado devido à sua capacidade de analisar e descrever, em detalhes, estruturas como o parênquima axial, anéis de crescimento e poros. Esse conjunto de características permite a identificação e diferenciação entre espécies visualmente semelhantes ao lado externo de espécies arbóreas amazônicas. Apesar de ser uma ferramenta extremamente útil, a identificação anatômica ainda enfrenta a escassez de profissionais qualificados, especialmente nas regiões tropicais, em razão da grande diversidade de espécies.

Nesse contexto, a identificação anatômica se mostra uma estratégia eficiente, por sua rapidez e menor complexidade em comparação a outros métodos, além de sua aplicabilidade na fiscalização e autuação em casos de transporte de madeira ilegal. Assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar a identificação macroscópica de três espécies de madeira de origem amazônica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de madeireiras em uma indústria localizada em Colniza, região pertencente à Amazônia Legal Brasileira, no norte do estado de Mato Grosso, Brasil (*Handroanthus* sp Figura 1). A região apresenta uma precipitação anual média de 2.373,6 mm e temperatura média de 26,6°C (Zepner et al., 2020), com clima tipo Am, conforme a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por uma pequena estação seca e influência de monções (Aparecido et al., 2020).

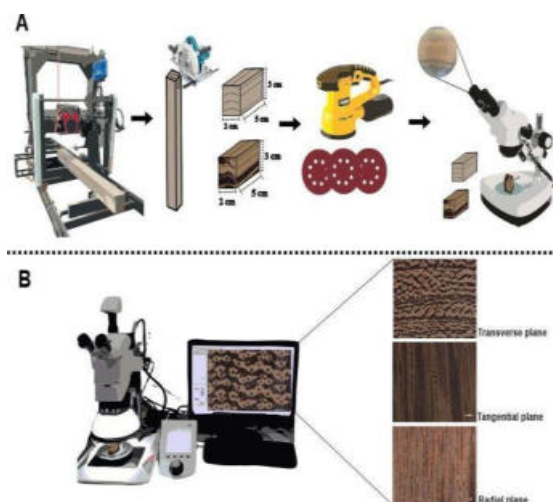
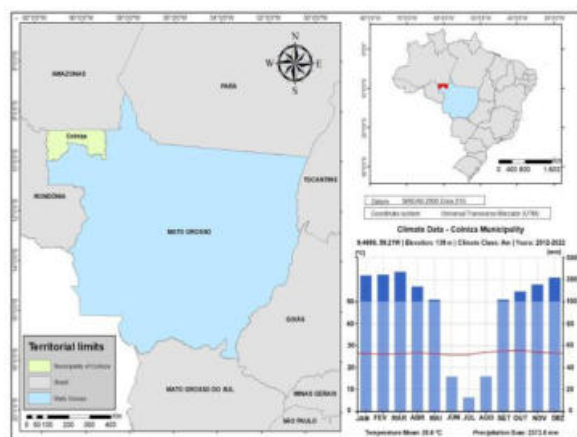


Fig. 1. Mapa com a localização da região de coleta das amostras e (A, B) imagens ilustrativas de procedimentos sequenciados realizados nos preparos para a caracterização anatômica das madeiras.

Foi realizada a coleta de três corpos de prova com as dimensões de 2 x 3 x 5 cm para a realização da análise macroscópica da madeira. Os corpos de prova foram lixados sequencialmente com lixas de granulometria variando de 80 a 2000. Em seguida, foram escovados para limpar os poros. Para a caracterização anatômica, foi utilizada uma lupa binocular, para descrever as características de distinção das camadas de crescimento, poros (visibilidade, porosidade, agrupamento, arranjo e conteúdo), parênquima axial (visibilidade e disposição) e parênquima radial (visibilidade, no plano transversal; contraste, no plano radial; e, estratificação, no plano tangencial), conforme COPANT (1974), IAWA Committee (1989) e Latorraca *et al.* (2018).

Após, foram feitas fotografias, utilizando um estereomicroscópio Leika M205C, equipado com sistema de fotomontagem e escala de 1 mm. Para confirmação das espécies, as imagens foram comparadas com amostras depositadas na Xiloteca do Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA/MT), localizado em Cuiabá, MT.

Considerando que as madeiras estudadas são comercializadas tanto no mercado interno quanto externo, foi realizada uma verificação nas listas de espécies ameaçadas de extinção no Brasil, na IUCN *Red List of Threatened Species* e na Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Fauna e Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção (BRASIL, 2022; IUCN, 2024; CITES, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao utilizar a técnica de caracterização macroscópica, há a necessidade de complementar essa técnica com outras para alcançar maior detalhamento, pois possui um número limitado de caracteres visíveis, especialmente para a identificação até epíteto específico. Na Figura 2, observa-se os três planos anatômicos das madeiras avaliadas.

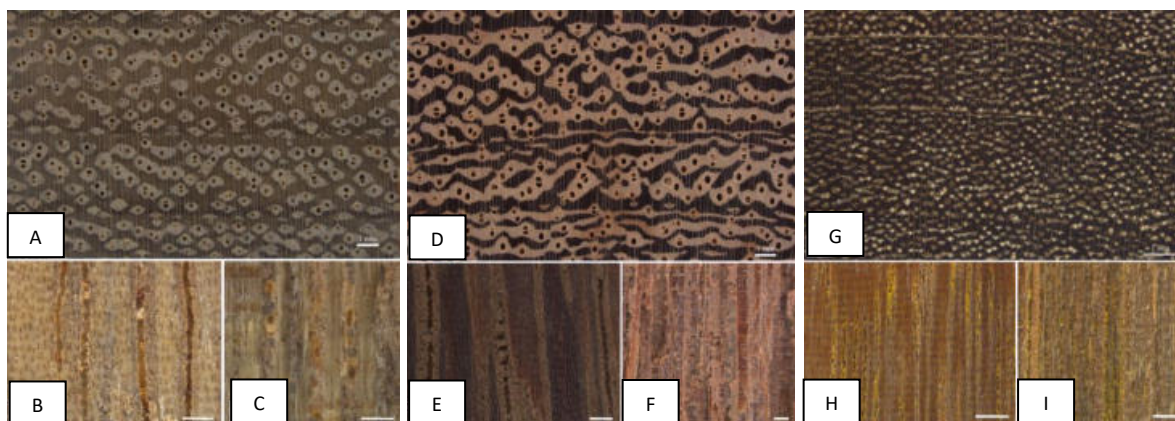


Fig. 2. Macroscopia de *Amburana* sp. (A: plano transversal; B: plano longitudinal tangencial; C: plano longitudinal radial, *Hymenolobium* sp. (D: plano transversal; E: plano longitudinal tangencial; F: plano longitudinal radial) e *Handroanthus* sp. (G: plano de corte transversal; H: plano de corte longitudinal tangencial; I: plano de corte longitudinal radial). Escala representativa equivalente a 1mm.

Amburana sp. (Figuras 2A, 2B e 2C): **Camadas de crescimento:** distintas, com camadas de crescimento de pouco a bem demarcadas pelo espessamento diferencial das paredes das fibras, definindo a zona fibrosa. Anteriormente a essa região, há redução expressiva do tamanho dos poros

e da presença de parênquima axial. **Poros:** visível sem lente de 10x de aumento, com porosidade difusa, agrupamento de vasos solitários com ocorrência de geminados, arranjo predominantemente diagonal, com presença de arranjo tangencial próximo à zona fibrosa. Poros pouco obstruídos por substâncias translúcidas e amarelo-claro. **Parênquima axial:** visível sem lente de 10x de aumento, do tipo paratraqueal aliforme losangular e aliforme confluyente em trechos curtos. **Parênquima radial:** visível sem lente de aumento, com estratificação irregular e contrastado.

O gênero *Amburana* Schwacke & Taub. (Fabaceae), é composto por três espécies, *Amburana acreana* (Ducke) A.C.Sm. e *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm., distribuídas pela Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Peru e a *Amburana erythrosperma* E.P.Seleme, C.H.Stirt. & V.F.Mansano, endêmica da Caatinga brasileira (Seleme et al., 2015). No Brasil, apresenta nomes vernaculares diversos como cerejeira, amburana, cumaru ou imburana-de-cheiro de acordo com a localidade (IPT, 2024; The Wood Database, 2024), e é encontrada principalmente na Floresta Amazônica, além de ocorrer na Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Seleme et al., 2015).

A madeira de *Amburana* sp. é amplamente utilizada na produção de móveis, cosméticos e medicina popular (Seleme et al., 2015; Ferreira et al., 2025). Contudo, a alta demanda no setor madeireiro colocou a espécie *Amburana acreana* em situação de risco e atualmente classificada como "Vulnerável" na Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção no Brasil e na IUCN *Red List of Threatened Species* (Brasil, 2022; IUCN, 2024) devido à exploração predatória. Essa condição ressalta a necessidade de medidas que conciliem o uso econômico de sua madeira com a preservação de seus estoques naturais.

Hymenolobium sp. (Figuras 2D, 2E e 2F): **Camadas de crescimento:** distintas, pouco demarcadas, com presença parênquima marginal com uma faixa de células parenquimáticas dispostas nos limites dos anéis de crescimento, visíveis macroscopicamente como uma linha tênue de tecido mais claro e por zonas fibrosas. **Poros:** visíveis sem lente de 10x de aumento, porosidade difusa, agrupamento de vasos solitários com ocorrência de geminados de 2-3 poros, sem arranjo definido com regiões diagonal. Poros pouco obstruídos por substância bege e substância escura observada nos planos axiais. **Parênquima axial:** visível sem lente de 10x de aumento, do tipo paratraqueal aliforme confluyente disposto em trechos longos e curtos, às vezes diagonais (oblíquos). Eventualmente em finas linhas marginais irregulares. **Parênquima radial:** visível sem lente, estratificado e bem contrastado.

Hymenolobium Benth. (Fabaceae) é um gênero que contém 12 espécies no Brasil e dessas, oito são endêmicas (Melchor-Castro, 2020). No Brasil, apresenta nomes vernaculares variados, como angelim, angelim-amargoso, angelim-saia e angelim-pedra (IPT, 2024; The Wood Database, 2024). Com características madeireiras atrativas para o mercado, especialmente para uso estrutural, em portas, telhados e movelaria (Teixeira et al. 2021), a exploração ilegal ameaça o gênero. A espécie *Hymenolobium excelsum* já é considerada "Vulnerável" na Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção do Brasil (Brasil 2022).

Handroanthus sp. (Figuras 2G, 2H e 2I): **Camadas de crescimento:** distintas, com presença parênquima marginal com uma faixa de células parenquimáticas dispostas nos limites dos anéis de crescimento, visíveis macroscopicamente como uma linha tênue de tecido mais claro. **Poros:** visível sem lente de 10x de aumento, porosidade difusa, agrupamento de vasos solitários com ocorrência de geminados, sem arranjo definido. Poros obstruídos por substância amarela brilhante e canais secretores axiais aparentemente presentes. **Parênquima axial:** visível com lente de 10x de aumento, do tipo paratraqueal, aliforme losangular e aliforme losangular unilateral, aliforme confluyente em

trechos curtos e formando linhas marginais. **Parênquima radial**: visível com lente de 10x de aumento, estratificados e contrastado.

Dentre principais utilizações para as espécies descritas, estão movelaria e construção civil, porém devido à exploração comercial intensiva e predatória, cinco espécies do gênero estão categorizadas como “Em Perigo” e uma como “Criticamente em Perigo” na Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção do Brasil e na IUCN Red List of Threatened Species (Brasil, 2022; IUCN, 2024). A categorização retrata uma situação de risco, chamando atenção para os cuidados necessário e prevenir a entrada das espécies nas listas ameaça de extinção.

As diferentes espécies de madeira apresentam durabilidade natural distinta, influenciada tanto pela suscetibilidade a agentes biológicos diversos quanto pelas condições ambientais em que são utilizadas (Motta, 2013, citado por Arruda et al., 2022). Características como a presença de resina, tilos e alta densidade são fatores relevantes na escolha da madeira para aplicações específicas, contribuindo a escolha da madeira para usos específicos, evitando prejuízos econômicos e usos inadequados. Além disso, as propriedades internas, únicas de cada espécie, funcionam como uma “impressão digital”, permitindo, por meio de análises macroscópicas rápidas, distinguir espécies semelhantes e coibir o comércio indevido de madeiras com maior valor agregado (Yu, 2017, citado por Soares, 2018).

4. CONCLUSÃO

Os gêneros identificados foram correspondentes aos nomes vernaculares indicados pela indústria madeireira onde as amostras foram coletadas.

Devido à similaridade anatômica entre espécies do mesmo gênero, não foi possível identificar as madeiras comerciais amazônicas ao nível de espécie. Com as características anatômicas citadas como camadas de crescimento, disposição e obstrução dos poros e tipo de parênquima é possível identificar as espécies de forma rápida e eficiente, ressaltando que a disposição de xilotecas como suporte institucional para órgão ambientais e também para pesquisa é de grande importância sendo uma fonte de referência confiável a pesquisa e análise de material com características anatômicas complexas.

AGRADECIMENTOS

Ao financiamento do projeto "Além do Primeiro Ciclo de Colheita nas Florestas Tropicais da Amazônia Brasileira", Chamada CONFAP 003-2022 - Amazônia +10, Processo nº FAPEMAT-PRO.000091/2023.

REFERÊNCIAS

APARECIDO, L. E. D. O.; MORAES, J. R. D. S. C. D.; MENESES, K. C. D.; TORSONI, G. B.; LIMA, R. F. D.; COSTA, C. T. S. Köppen-Geiger and Camargo climate classifications for the Midwest of Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 142, n. 3-4, p. 1133-1145, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03358-2>. Acesso em: (29/03/2025).

ARRUDA JÚNIOR, J. M. de; COSTA, E. B.; GABRIEL, C. dos S.; GOUVÊA, A. de F. G.; URBANO, E. Relação dos atributos químicos e anatômicos no ataque de xilófago em espécies florestais nativas. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, v. 9, n. 20, p. 46-61, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21472/bjbs.v09n20-004>. Acesso em: 14 jul. 2025. **p. 49.**

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022: Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 107, p. 108-118, 8 jun.2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em 11 dez. 2024.

BUT, G.W.; WU, H.Y.; SIU, T.Y.; CHAN, K.T.; WONG, K. H.; LAU, D. T.; SHAW, P. C. Comparison of DNA extraction methods on Teixeira-listed timber species and application in species authentication of commercial products using DNA barcoding. *Scientific Reports*, v 13, n.1, p.151, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27195-7>.

CITES. Convention on International Trade In Endangered Species of Wild Fauna and Flora: Appendices I, II and III. 2024. Disponível em: <https://cites.org/eng/app/appendices.php>. Acesso em 11 dez. 2024.

COPANT. Descripción de características generales, macroscópicas y microscópicas de las maderas de Angiospermas Dicotiledóneas. COPANT 30. [S.l.]: COPANT, 1974. 19 p.

FERREIRA, A.; AGUIAR, R.; BRANDÃO, H.; SANTOS, R.; FREITAS, H. de; TELES, C.; REIS, J.; SOUZA, J. de; ALVES, C. Chemical constituents of *Amburana acreana* Ducke A. C. Sm. leaves. *Química Nova*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20250010>.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. In: WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. (Ed.). *IAWA Bulletin*, v. 10. Leiden, Netherlands: IAWA Committee, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras. [S.l.]: IPT, [s.d.]. Disponível em: <https://madeiras.ipt.br>. Acesso em: 13 dez. 2024.

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. 2024. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 11 dez. 2024.

LATORRACA, J. V. de F.; CASTRO, J. P.; SANTOS, G. C. V. dos. Guia para a identificação macroscópica de madeira. 1. ed. Seropédica: Editora do Autor, 2018.

MELCHOR-CASTRO, B.; LIMA, H. C.; CARDOSO, D. B. O. S. ***Hymenolobium* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22977>. Acesso em: 05 ago. 2024.

MENEZES-SILVA, P. E.; LORAM-LOURENCO, L.; ALVES, R.; SOUSA, L. F.; ALMEIDA, S.; FARNESE, F. S. Different ways to die in a changing world: Consequences of climate change for tree species performance and survival through an ecophysiological perspective. ***Ecology and Evolution***, v. 9, n. 20, p. 11979-11999, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.5663>.

SELEME, E. P.; LEWIS, G. P.; STIRTON, C. H.; SARTORI, A. L. B.; MANSANO, V. F. A taxonomic review and a new species of the South American woody genus *Amburana* (Leguminosae, Papilionoideae). ***Phytotaxa***, v. 212, n. 4, p. 249-263, 2015.

SOARES, L. F. *Avaliação da interferência da umidade em modelos de discriminação de madeira por PLS-DA e de métodos para sua correção*. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Química) –

Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34866>. Acesso em: 14 jul. 2025. **p. 9.**

THE WOOD DATABASE. Wood Database. 2024. Disponível em: <https://www.wood-database.com>. Acesso em: 20 dez. 2024.

ZEPNER, L.; KARRASCH, P.; WIEMANN, F.; BERNARD, L. ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform. **International Journal of Digital Earth**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>.

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* PLANTADO EM TRÊS ESPAÇAMENTOS

Ana Stephany de Oliveira Lelis^{1*}; Maria Eduarda Aguilar Coelho¹; Theonizi Angélica Silva Albuês²; Márcio Pereira da Rocha²; Aylson Costa Oliveira¹; Bárbara Luísa Corradi Pereira¹

¹ Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná.

*Autor correspondente (e-mail): annaleliss@gmail.com

Resumo: A modificação térmica é uma alternativa que visa aumentar a durabilidade da madeira, prolongando sua vida útil e tornando-a mais eficiente para uso em ambientes externos. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da modificação térmica em madeira de *Eucalyptus* na resistência à podridão branca, após ensaio de degradação acelerado utilizando o fungo *Trametes versicolor*. Para isso, amostras de madeira de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado em espaçamentos 3m x 3m, 6m x 3m e 8,5m x 3m foram submetidas à modificação térmica a 180 °C, em estufa laboratorial. Posteriormente, o ensaio de degradação acelerado em laboratório foi conduzido por 16 semanas. A perda de massa variou de 4,62 (muito resistente) a 19,65 (resistente), correspondendo, respectivamente, aos tratamentos com espaçamento 6m x 3 m (controle) e 3 x 3 m (após modificação térmica). A madeira proveniente de árvores plantadas no espaçamento de 6 x 3 m apresentou redução de 50% na perda de massa após a modificação térmica. Os resultados desse estudo indicam o potencial da modificação térmica como alternativa sustentável para o aumento da vida útil de produtos madeireiros de espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*.

Palavras-chave: Ensaio de degradação acelerado; Podridão branca; Perda de massa.

EFFECT OF THERMAL MODIFICATION ON THE BIOLOGICAL RESISTANCE OF *Eucalyptus* app. WOOD.

Abstract: Thermal modification is an alternative aimed at increasing the durability of wood, extending its service life, and making it more suitable for use in outdoor environments. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of thermal modification on the resistance of *Eucalyptus* wood to white rot, after an accelerated decay test using the fungus *Trametes versicolor*. For this purpose, wood samples from a hybrid *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, planted at spacings of 3 × 3 m, 6 × 3 m, and 8.5 × 3 m, were subjected to thermal modification at 180 °C in a laboratory oven. Subsequently, the accelerated laboratory decay test was conducted over a period of 16 weeks. Mass loss ranged from 4.62% (very resistant) to 19.65% (resistant), corresponding respectively to the treatments with 6 × 3 m spacing (control) and 3 × 3 m spacing (after thermal modification). Wood from trees planted at 6 × 3 m spacing showed a 50% reduction in mass loss after thermal treatment. The results of this study highlight the potential of thermal modification as a sustainable alternative to enhance the service life of wood products derived from fast-growing species, such as those of the *Eucalyptus* genus.

Keywords: Thermal modification; White rot; Mass loss.

1. INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus*, gênero originário da Austrália, foi introduzido no Brasil devido à sua notável capacidade de adaptação, rápido crescimento e variedade de espécies, e hoje desempenha um papel central na economia florestal nacional. O *Eucalyptus* se destaca nas plantações florestais brasileiras, ocupando 7,8 milhões de hectares — o equivalente a 76% da área total dedicada ao cultivo de árvores em 2023, segundo o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024). Houve um aumento de 41% na área de eucalipto plantado na última década.

O cultivo de eucalipto no Brasil é caracterizado por alta densidade, com espaçamentos mais comuns de 3×2 m e 3×3 m — o que corresponde a 1.100 a 1.667 árvores por hectare — e por seu rápido crescimento. Esses fatores contribuem para o aumento das tensões internas da madeira, podendo resultar em defeitos na madeira após o corte das árvores (YANG; WAUGH, 2001). A adoção de espaçamentos mais amplos e ciclos de colheita mais longos favorece o crescimento em diâmetro das árvores, otimizando o aproveitamento das toras (OLIVEIRA et al., 2009), quando o objetivo é a utilização da madeira sólida. Além disso, árvores com copas mais desenvolvidas e fustes mais grossos tendem a apresentar menores níveis de tensões de crescimento (BIECHELE, 2009).

Contudo, a madeira de eucalipto apresenta baixa durabilidade natural e suscetibilidade ao ataque de xilófagos, além de baixa estabilidade dimensional, dificultando seu uso externo. A durabilidade natural da madeira está associada à sua capacidade de suportar fatores bióticos e abióticos sem alterações significativas em suas propriedades (BRITO et al., 2022). Os xilófagos são relevantes por consumirem componentes da parede celular, causando alterações estruturais.

Nesse contexto, a modificação térmica é uma alternativa eficaz para melhorar as características da madeira. Há degradação das hemiceluloses, gerando substâncias biocidas (SILVA, 2008). Assim, a modificação térmica pode aumentar a durabilidade da madeira, uma vez que o processo reduz a absorção de água, inibe o crescimento dos xilófagos e além de proporcionar escurecimento da madeira, aumentando seu apelo comercial (PAES, 2023).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da modificação térmica na resistência da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* $\times$ *Eucalyptus urophylla* ao fungo da podridão branca (*Trametes versicolor*), considerando árvores plantadas em três diferentes espaçamentos: 3×3 m, 6×3 m e $8,5 \times 3$ m.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi selecionado um material genético clonal híbrido de *Eucalyptus grandis* $\times$ *Eucalyptus urophylla* para este estudo. As árvores, com sete anos de idade, foram plantadas em três espaçamentos: 3×3 m, 6×3 m e $8,5 \times 3$ m, em um plantio experimental da Arbogen Tecnologia Florestal, localizado em Chapadão do Sul - Mato Grosso do Sul. O município tem altitude de 820m, com temperatura média de 22° C e precipitação anual média entre 1.200 mm a 1.500 mm.

Da parte basal de cada árvore, foram desdobradas tábuas com dimensões nominais de 2200 x 100 x 20 mm (Comprimento x Largura x Espessura), sem distinção entre cerne e alborno. As tábuas foram pré-secas ao ar livre até a obtenção de umidade final de 20%. Após, foram redimensionadas em peças com dimensões de 500 x 100 x 20 mm (C x L x E).

Para a modificação térmica foram utilizadas quatro repetições (tábuas) por tratamento. Essa foi conforme a metodologia patenteada por Severo e Calonego (2011), em uma estufa laboratorial elétrica da marca Marconi, modelo MA 035, conforme programa apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Programa de modificação térmica para diferentes genótipos de eucalipto.

Tempo	Temperatura	Condições
00h58min	1,34 °C. min	Aquecimento até 100°C
14h00min	100 °C	Pré-tratamento
00h58min	1,34 °C. min	Aquecimento até 180°C
2h30min	180 °C	Modificação térmica
-	Natural	Resfriamento natural

O ensaio de degradação acelerado em laboratório foi conduzido utilizando-se o fungo xilófago *Trametes versicolor*, causador da podridão branca. Adotou-se a metodologia proposta por Fukasawa e Kaga (2022), com adaptações. O fungo foi cultivado em placas de Petri durante três semanas, utilizando um meio de cultura composto por 1 litro de água, 15 g de ágar e 30 g de extrato de malte. O experimento utilizou 34 placas de Petri com fungos, nas quais foram inseridos oito corpos de prova em cada. Os corpos de prova da madeira foram secos em estufa por 24 horas, a 100°C, acondicionados em dessecador e pesados para determinação da massa inicial. Eles foram transferidos para recipientes de vidro, levemente umedecidos com água destilada e esterilizados em autoclave. Após, foram inseridos nas placas de petri e o crescimento dos fungos foi monitorado por 16 semanas.

Após esse período, os corpos de prova foram limpos com uma escova e secos novamente em estufa. Posteriormente, determinou-se a massa final. A perda de massa foi então calculada com base na diferença entre as massas inicial e final, sendo expressa em porcentagem pela razão entre a massa perdida e a massa inicial, multiplicada por cem. A espécie *Jacaranda copaia* foi utilizada como referência para indicar o vigor da cultura fúngica, cuja perda de massa média foi igual a 49,81%.

A avaliação da resistência da madeira foi seguindo as normas ASMT D-2017 (2025), baseado na perda de massa média de cada tratamento: 0 – 10% (Muito resistente), 11 – 24 %(Resistente), 25 – 24% (Moderadamente resistente) e >45% (Não resistente).

O experimento seguiu um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x3, avaliando a interação entre modificação térmica (com e sem) e três espaçamentos (3 x 3 m, 6 x 3 m e 8,5 x 3 m), para cada clone, separadamente, com 12 repetições (corpos de prova). Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão os valores médios de perda de massa da madeira de *Eucalyptus* após ensaio de degradação acelerado.

Tabela 2. Perda de massa (%) e classe de resistência da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em função dos espaçamentos de plantio e da modificação térmica.

Condição	Espaçamento (m x m)		
	3 x 3	6 x 3	8,5 x 3
Controle	19,65 ^(3,03) Aa	9,17 ^(4,97) Ab	8,42 ^(1,77) Bb
	Resistente	Muito resistente	Muito resistente
180 °C	15,53 ^(5,79) Aa	4,62 ^(3,79) Bb	14,32 ^(4,53) Aa
	Resistente	Muito resistente	Resistente

Letras maiúsculas na coluna (condição) e minúsculas na linha (espaçamento) não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). A classificação que segue abaixo do valor médio da perda de massa seguiu a ASTM D2017 (2025).

Na condição controle, as perdas de massa após o ensaio foram significativamente menores nas madeiras provenientes dos espaçamentos 6×3 m e $8,5 \times 3$ m. Para a madeira modificada termicamente, a menor perda de massa foi observada no espaçamento 6×3 m. Ressalta-se que as amostras foram coletadas aleatoriamente, evitando tábuas com nós e rachaduras. Como não houve padronização anatômica, podem conter alborno e cerne, o que pode ter influenciado os resultados.

Ao comparar as duas condições dentro de cada espaçamento de plantio, não foi observado um padrão consistente. No espaçamento 3×3 m, não houve diferença significativa entre a madeira controle e a modificada termicamente a 180°C , sendo ambas classificadas como resistentes. No espaçamento 6×3 m, a modificação térmica reduziu significativamente a perda de massa, embora em ambas as condições a madeira tenha sido classificada como muito resistente. Por outro lado, no espaçamento $8,5 \times 3$ m, a modificação térmica resultou em aumento significativo da perda de massa fazendo com que a madeira deixasse de ser classificada como muito resistente e passasse a ser apenas resistente. Esse comportamento pode estar relacionado à menor densidade e ao rápido crescimento das árvores nesse arranjo, fatores que favorecem a degradação térmica (SCANAVACCA JÚNIOR; GARCIA, 2023).

Segundo Rocha et al. (2019), diferentes espaçamentos afetam a taxa de crescimento das árvores, o que, por sua vez, impacta na densidade e na proporção de alborno e cerne. Esses fatores influenciam tanto a resistência natural à biodegradação quanto a resposta à modificação térmica. Além disso, como a amostragem não foi padronizada, não é possível descartar a influência da variabilidade entre as amostras na resposta à modificação térmica.

Ao comparar os resultados obtidos com os de Vivian et al. (2015), observam-se diferenças na resposta da madeira à modificação térmica. No trabalho desses autores, a madeira de *Eucalyptus cloeziana* apresentou redução significativa na perda de massa da madeira modificada termicamente após ensaio com *T. versicolor* (82,31%). Já a madeira de *Eucalyptus grandis*, embora menos resistente naturalmente, também apresentou redução na perda de massa após o tratamento (35,17%). No presente estudo, a eficácia da modificação térmica variou conforme o espaçamento de plantio: reduções de 20,96% (3×3 m) e 49,63% (6×3 m) foram observadas, enquanto no espaçamento de $8,5 \times 3$ m ocorreu um aumento na perda de massa em relação à madeira controle ($-70,07\%$), o que não era esperado. Isso pode ser explicado devido a degradação dos constituintes químicos da madeira, podendo resultar na formação de novas substâncias com características atrativas aos xilófagos, facilitando, assim, a sua preferência por esse material (MEDEIROS et al., 2018).

Em termos médios, a madeira na condição controle obteve uma média de 12,42% de perda de massa, enquanto na madeira modificada termicamente a 180°C , essa foi igual a 11,49%. É possível visualizar na Figura 1 que o crescimento dos fungos foi maior na madeira da condição controle. Isso pode ser atribuído às alterações superficiais provocadas pelo tratamento térmico, como a redução na higroscopicidade, devido à degradação das hemiceluloses (SILVA, 2008), dificultando sua colonização visível. Além disso, o crescimento micelial aparente nem sempre reflete com precisão o grau de degradação interna da madeira.

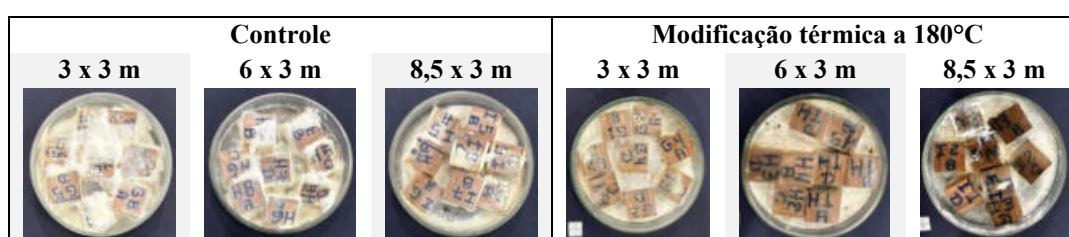


Figura 1 – Corpos de prova de madeira de diferentes espaçamentos submetidos ao ataque de fungos xilófagos, nas condições controle e modificadas termicamente a 180 °C.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial da modificação térmica como uma alternativa sustentável para aumentar a durabilidade de produtos madeireiros oriundos de espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*. O tratamento a 180 °C promoveu leve redução na perda de massa e menor crescimento visível de fungos, contudo, os efeitos variaram entre os espaçamentos de plantio, sem apresentar um padrão consistente. Destaca-se a madeira proveniente do espaçamento de 6 × 3 m, que apresentou redução expressiva de 50% na perda de massa após o tratamento. Diante dessa variabilidade, ressalta-se a necessidade de estudos complementares que investiguem, de forma mais aprofundada, a influência do espaçamento e da qualidade da madeira nas respostas à modificação térmica.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica, à UFMT pelo auxílio financeiro destinado à participação ao congresso e à UFPR pela concessão do material da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM D2017: **Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods**. Philadelphia, 2005. 5p. Annual Book of ASTM Standard.

BRITO, T. M.; FERREIRA, G.; MISSIA DA SILVA, J. G.; DE MENDONÇA, A. R.; NETO, H. F.; PAES, J. B.; BATISTA, D. C. Resistance to biodeterioration of thermally modified *Eucalyptus grandis* and *Tectona grandis* short-rotation wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 18, n. 1, p. 3-10, 2022.

BUCHELT, B.; WAGENFÜHR, A. Evaluation of colour differences on wood surfaces. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 1-3, p. 389-391, 2011.

FUKASAWA, Y.; KAGA, K. Surface area of wood influences the effects of fungal interspecific interaction on wood decomposition—A case study based on *Pinus densiflora* and selected white rot fungi. **Journal of Fungi**, [S.l.], v. 8, n. 5, p. 517, 2022.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2024**. Coordenação: Cindy Correa, Renata Silva, Mariana Polli, Beatriz Montesanti, Sergio Marques, Eduardo Ferreira. Elaboração: ESG Tech. São Paulo, 2024.

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó et al. Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). **Fundamentos e pesquisas em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024, p.73-89. ISBN: 978-65-85562-27-0.

ROCHA, M. F. V.; VEIGA, T. R. L. A.; SOARES, B. C. D.; ARAÚJO, A. C. C.; CARVALHO, A. M. M.; HEIN, P. R. G. Do the Growing Conditions of Trees Influence the Wood Properties? **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 26, n. 3, e20180353, 2019

SCANAVACCA JÚNIOR, Laerte; GARCIA, José Nivaldo. PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus urophylla* . **REVISTA DE AGRICULTURA**, Piracicaba, v. 98, n. 1, p. 12–22, 2023

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; GOMES JUNIOR, C. C. Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas de *Pinus elliottii*. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA**, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL; EBRAMEM, 2008.

VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MODES, K. S.; GARLET, A.; MORAIS, W. W. C. RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA TRATADA DE *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus cloeziana* A FUNGOS APODRECEDORES EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 175–183, 2015.

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO RADIAL NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE OITO CLONES DE TECA

Isabelly Karolina Terra de Oliveira^{1*}; Yuri Nickson da Costa Sousa; Bárbara Luísa Corradi Pereira²; Aylson Costa Oliveira²

¹ Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): isabellyoliveira15brmt@hotmail.com

Resumo: As características estruturais da madeira de teca são fundamentais para a determinação da aplicação final da madeira para os diferentes usos. Essa ocorrência é devida principalmente ao fator da madeira ser considerada um material natural, que apresenta muitas variações nas categorias de umidade, resistência e elasticidade. Por isso, o objetivo foi avaliar a influência do material genético em relação a posição radial da madeira de teca sendo originadas de um teste clonal que foram exposto a análise de resistência mecânica, o cisalhamento, sendo o estudo realizado em Cuiabá. As amostras foram originadas de 8 clones de uma plantação em Cáceres, no estado de Mato Grosso. Os resultados da análise de resistência ao cisalhamento mostraram que o material genético influenciou no aspecto de homogeneidade entre os clones, com o clone BT84 tendo valor médio igual a 10,34 MPa, tendo resistência superior ao BT61, com o valor médio de 7,98 MPa.

Palavras chave: Clones; Mecânica; Resistência ; Teca.

INFLUENCE OF RADIAL POSITION ON THE SHEAR STRENGTH OF WOOD FROM EIGHT TEAK CLONES

Abstract: The structural characteristics of teak wood are fundamental in determining its final application for various uses. This is mainly due to the fact that wood is considered a natural material, which presents significant variations in moisture content, strength, and elasticity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of genetic material in relation to the radial position of teak wood, originating from a clonal test, which was subjected to mechanical strength analysis—specifically, shear strength. The study was conducted in Cuiabá. The samples were obtained from eight clones of a plantation located in Cáceres, in the state of Mato Grosso. The results of the shear strength analysis showed that the genetic material influenced the homogeneity among the clones, with clone BT84 showing an average value of 10.34 MPa, demonstrating greater strength compared to BT61, which had an average value of 7.98 MPa.

Keywords: Clones; Mechanics; Strength; Teak.

1. INTRODUÇÃO

A madeira da espécie *Tectona grandis* L.f., teca, é amplamente valorizada no mercado mundial devido a diferentes fatores, como sua coloração marrom-dourada, alta durabilidade natural associada a uma densidade média (Garcia et al., 2016). Essas características tornam-na atrativa para aplicações comerciais de alto valor agregado, sendo amplamente utilizada na fabricação de móveis

de luxo, construção naval, elementos estruturais da construção civil, além de revestimentos, acabamentos e esquadrias.

A elevada valorização da madeira dessa espécie tem incentivado investimentos crescentes no seu cultivo em regiões tropicais, onde as condições edafoclimáticas são propícias para o seu desenvolvimento. No Brasil, as plantações de teca somam aproximadamente 76 mil hectares de área de árvores plantadas (IBÁ, 2023), sendo o estado de Mato Grosso o principal produtor, concentrando cerca de 65% da área cultivada no país (IMEA, 2019). Historicamente, grande parte dessas plantações tem origem seminal. No entanto, desde o início dos anos 2000, observa-se um crescimento expressivo no plantio de materiais clonais (Takizawa et al., 2022). Esses materiais apresentam vantagens significativas, como maior taxa de crescimento, árvores mais cilíndricas e maior proporção de cerne (Silva, 2024). Nesse contexto, compreender as variações genéticas na qualidade da madeira de teca torna-se essencial, pois permite sua melhor adequação aos diversos usos comerciais (Souza et al., 2024).

É importante ressaltar que há variabilidade nas propriedades da madeira dentro de uma mesma árvore, ocasionada pelo crescimento sazonal. No caso da teca, torna-se essencial avaliar a influência da posição radial nas propriedades da madeira. Nas plantações de rápido crescimento, o incremento volumétrico é mais acentuado nos primeiros anos e tende a diminuir devido à competição entre as plantas (Rocha et al., 2019). Como resultado, os anéis de crescimento, que são bem definidos, tendem a ser mais largos nos anos iniciais e mais estreitos nos anos que antecedem o corte final, que no Brasil ocorre, em geral, entre 20 e 25 anos (Arias, 2013). Dessa forma, compreender a influência da posição radial nas propriedades da madeira é igualmente relevante para o aproveitamento adequado da madeira.

Destacam-se as propriedades mecânicas da madeira, principalmente em aplicações como a construção civil, a fabricação de móveis e outros usos em que a madeira é sujeita a esforços. Dentre os ensaios mecânicos, tem-se o teste de cisalhamento paralelo às fibras que consiste na separação das suas fibras causada por esforços contrários, paralelos a elas, por deslizamento (Moreschi, 2014). Essa propriedade é importante em situações que exigem a sustentação de esforços transversais, como em juntas estruturais e ligação de peças. Essas análises são realizadas com base em ensaios padronizados por normas técnicas (Mori et al., 2005; Matos et al., 2016). A densidade média da madeira de teca, aproximadamente 0,64 g/cm³ com 12% de umidade (Souza, 2024), também é um parâmetro relevante, pois está diretamente relacionada à sua resistência mecânica.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do material genético e da posição radial na resistência ao cisalhamento da madeira de teca proveniente de um teste clonal com 22 anos de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho é proveniente de um teste clonal, implantado no município de Cáceres, Mato Grosso. Com duas estações bem definidas, uma seca que ocorre entre os meses de maio a setembro, e a chuvosa entre os meses de outubro a abril. A pluviosidade média anual do município é de 1335 mm, com duração média 115 dias por ano. O relevo é plano e bem drenado, apresentando sinais de Latossolo Amarelo distrófico e o Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (Kreitlow et al., 2014). A temperatura média anual do município é de 25,18°C, com máximas e mínimas anuais de 33,2°C e 20,3°C (Amorim, 2018).

Foram selecionadas e derrubadas 24 árvores com idade de 22 anos, de oito clones. Foram desconsideradas as árvores com defeitos visuais ou árvores próximas à borda do povoamento. As variáveis dendrométricas são observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações dendrométricas dos clones de *Tectona grandis* avaliados neste estudo, de um teste clonal em Cáceres, MT com 22 anos de idade

Clone	DAP (cm)	HT (m)	HC (m)
BT61	30,22	24,05	10,00
BT63	32,42	24,33	10,87
BT66	30,15	23,91	10,23
BT68	29,31	24,11	9,90
BT73	27,43	22,80	9,60
BT82	31,97	28,53	10,27
BT83	34,31	24,92	12,40
BT84	27,39	24,36	9,80

Legenda: DAP (diâmetro à altura do peito), HT (altura total) e HC (altura comercial)

Após o abate das árvores, foi retirada uma tora de 1,3 m de comprimento de cada indivíduo (da base até o DAP). Dessa tora, extraiu-se uma prancha diametral no sentido norte-sul, atravessando a medula. A partir de cada prancha diametral, foram confeccionados caibros com dimensões de $5 \times 5 \times 130$ cm, excluindo a região da medula. Dessa forma, foram obtidos caibros do cerne interno e do cerne externo, totalizando no mínimo quatro caibros por tora: dois posicionados no lado norte e dois no lado sul.

A preparação dos corpos de prova ocorreu no Laboratório de Preservação e Energia da Madeira e no Laboratório de Processamento de Madeira e Derivados, onde eles foram demarcados e cortados nas dimensões proposta pela norma ABNT 7190 (2022), com dimensões de $5 \times 5 \times 15$ cm, para a análise de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. As amostras foram acondicionadas na sala de climatização com temperatura controlada a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e com umidade relativa do ar de $65\% \pm 5\%$, para manter a garantia da manutenção da umidade de equilíbrio higroscópico em torno de 12%. Posteriormente, os corpos de prova foram medidos e pesados.

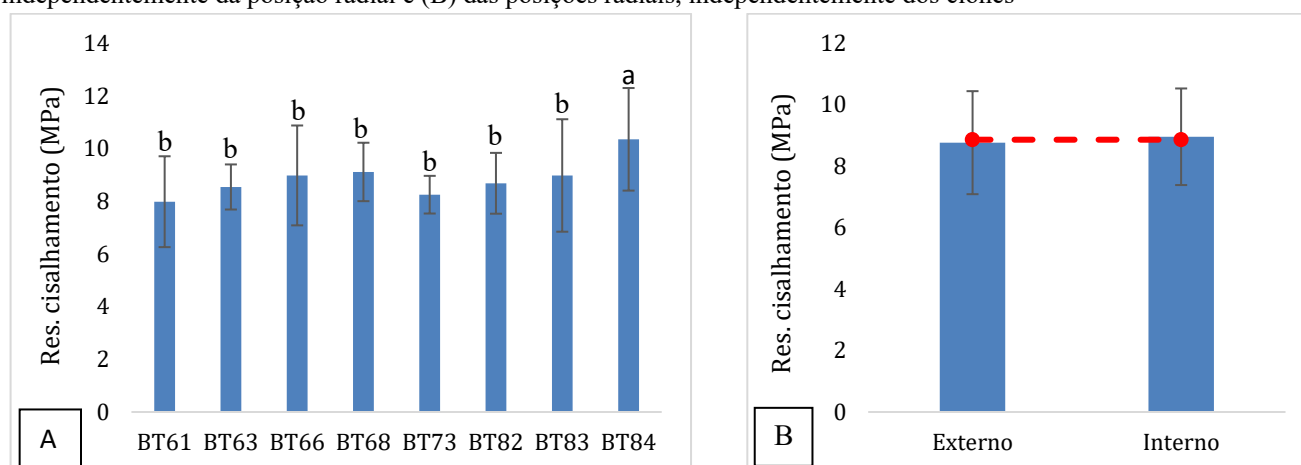
O ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foi realizado com o auxílio da Máquina Universal de Ensaio Amsler Wolpert. Após finalizados os ensaios, as amostras foram levadas à estufa na temperatura de 102°C por 48h, até massa constante, e os resultados foram corrigidos para 12% de umidade.

As análises estatísticas foram efetuadas no *software* RStudio, seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial (8 clones x 2 posições radiais). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e se estabelecidas diferenças significativas entre clones ($p\text{-valor} < 0,05$), aplicou-se o teste de médias de Scott-Knott.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística indicou que não houve interação significativa entre os clones e as posições radiais para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. O clone BT84 apresentou o maior valor médio de resistência (10,35 MPa), sendo significativamente superior aos demais (Figura 2A). Os clones com menor resistência formaram um grupo com valores médios variando de 7,98 MPa (BT61) a 9,11 MPa (BT68) (Figura 2A). Quanto às regiões do cerne, não foi observada diferença estatística entre o cerne externo e o cerne interno, cujo valor médio foi igual a 8,85 MPa (Figura 2B).

Figura 2 – Valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de (A) oito clones de teca, independentemente da posição radial e (B) das posições radiais, independentemente dos clones



Legenda: Letras minúsculas iguais indicam que não houve diferença significativa ($p < 0,05$). Linha tracejada vermelha indica que não apresenta diferença estatística foi significativo ($p > 0,05$).

Em uma análise realizada em três regiões de Mato Grosso (Silva, 2024), não observou diferenças significativas para resistência ao cisalhamento da madeira de teca com 22-23 anos plantada em três localidades. A média geral obtida foi de 10,41 MPa (Silva, 2024), valor ligeiramente superior ao registrado na presente pesquisa. No estudo conduzido por Benedetti (2018), em uma plantação de teca localizada em Rosário Oeste – MT, com 18,7 anos de idade, foi obtido um valor médio de 15,65 MPa para a resistência ao cisalhamento. Já na pesquisa de Lozano (2019), que avaliou uma plantação em Chanchamayo, no Peru, com 32 anos de idade, a média encontrada foi de 10,57 MPa. Por outro lado, Zahabu et al. (2015) relataram valor médio de 8,93 MPa em um dos tratamentos avaliados em uma plantação de 14 anos na Floresta de Longuza, no distrito de Muheza, na Tanzânia, sendo este o menor resultado dentre os estudos citados.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a resistência ao cisalhamento é influenciada pelas características genéticas dos clones, com a madeira do clone BT84 apresentando maior resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Já a posição radial não influenciou significativamente tal propriedade.

5. AGRADECIMENTOS

À Teak Resources Company (TRC) pela doação do material e pelo apoio ao desenvolvimento do projeto. À Universidade Federal de Mato Grosso, pelo suporte financeiro destinado à participação no evento. Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica à primeira autora.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, S. C. **Clima e balanço hídrico no município de Cáceres (MT)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2018. Disponível em:
<https://portal.unemat.br/media/files/PPGGEO/SUELEM%20CEBALHO%20DE%20AMORIM.pdf>
- ARIAS, L. A. Ugalde. **Teak: New Trends in Silviculture, Commercialization and Wood Utilization**. International Forestry and Agroforestry, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira – Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas - Método de microscopia óptica. Rio de Janeiro, 1997. 50p.
- BENEDETTI, V. **Caracterização da madeira de teca plantada em diferentes idades e regiões para produção de piso**. 2018. 108 f. Dissertação (Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
- DE SOUZA, L. V. C. et al. **Wood quality of young Tectona grandis L. f. trees and its relationship with genetic material and planting site in Mato Grosso, Brazil**. *Forests*, v. 15, n. 5, p. 860, 2024.
- GARCIA, R. A; MARINONIO, G. B. **Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos**. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 23, n. 1, p. 124–134, 2016. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.087015>.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual** Ibá, p. 46, 2023. Disponível em:
<http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas/cenarios-iba>. Acesso em: fevereiro 2025.
- INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA (IMEA). **Mapeamento da Produção Silvicultural em Mato Grosso**. 1 ed. Cuiabá, MT: IMEA, 2022.
- KREITLOW, J. P.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; SERAFIM, M. E. **Avaliação geoambiental das terras do município brasileiro de Cáceres para o cultivo da teca**. Curitiba: R. Ra’e Ga, 2014.
- LOZANO, R. R. A. **Caracterización físico-mecánica de la madera de teca Tectona grandis L.f. proveniente de una plantación en Chanchamayo-Perú**. 2019. 71 f. Tese - Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru.
- MATOS, G. da S.; MOLINA, Julio Cesar. **Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190: 1997 e ISO 13910: 2005**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 21, n. 04, p. 1069-1079, 2016.
- MORESCHI, M. R. **Propriedades da madeira**. Curitiba, PR: [s.n.], 2014. Disponível em:
<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2025.
- MORI, C. L. S. DE O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C.

Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de Eucalyptus spp. Cerne. Lavras-MG, v. 11, p. 137-146, 2005.

PINTO, M. de L. **Propriedades e características de Teca (Tectona grandis) em função da idade.** 2007. 124 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ROCHA, Maria Fernanda Vieira et al. **Do the growing conditions of trees influence the wood properties?** Floresta e Ambiente, v. 26, n. 3, p. e20180353, 2019.

SILVA, J. E. C. **Morfologia do fuste e propriedades da madeira de Tectona grandis L. f. de plantações em idade de corte final.** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2024.

TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BÓREM, A. **Teca: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2022. 344 p.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. et al. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, p. 487-494, 2003.

ZAHABU, E. et al. **Effect of spacing regimes on growth, yield, and wood properties of Tectona grandis at Longuza forest plantation, Tanzania.** International Journal of Forestry Research, v. 2015, n. 1, p. 469760, 2015.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DE UM CLONE DE *Eucalyptus* spp. EM DUAS IDADES

João Lucas Arruda de Jesus¹; Camila Mendes Campos²; Ana Rafaelly Jacob da Silva¹; Waldelaine Rodrigues Hoffmann²; Yuri Nickson da Costa Sousa¹; Isabelly Karolina Terra de Oliveira¹; Bárbara Luísa Corradi Pereira²; Aylson Costa Oliveira²

¹Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

² Programa de pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil.

João Lucas Arruda de Jesus : jlucas11arruda@gmail.com

Resumo: A avaliação das propriedades energéticas da madeira de eucalipto é fundamental para otimizar seu uso como biomassa, aprimorando a eficiência energética e reduzindo custos na indústria. O objetivo deste estudo foi analisar as propriedades energéticas do clone I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) em diferentes idades (9 e 13 anos), verificando a influência da idade sobre os parâmetros: densidade básica, poder calorífico superior e composição química estrutural (lignina, holocelulose e extrativos). Foram coletadas 5 árvores do clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (I144) nas idades de 9 e 13 anos, de um plantio comercial em Brasnorte - Mato Grosso. Foram determinadas a densidade básica, poder calorífico superior, teor de extrativos, teor de lignina, e teor de holocelulose, desvio padrão e realizadas análises estatísticas (ANOVA). Os resultados indicaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na densidade básica e no teor de extrativos, com a madeira de 13 anos apresentando maior densidade ($531,22 \text{ kg.m}^{-3}$) em comparação à de 9 anos ($449,51 \text{ kg.m}^{-3}$). O teor de extrativos também aumentou com a idade, variando de 4,84 a 6,40%. No entanto, não foram observadas diferenças significativas no poder calorífico superior com média igual a $4772 \text{ kcal.kg}^{-1}$ e nos teores de lignina (32,57%) e holocelulose (62,35%). A madeira do clone I144 nas idades de 9 e 13 anos apresentam propriedades energéticas adequadas para uso na combustão e a idade influenciou na densidade básica e no teor de extrativos.

Palavras chave: Densidade básica; Química Estrutural; Combustão; Biomassa.

EVALUATION OF THE ENERGETIC PROPERTIES OF A *Eucalyptus* spp. CLONE AT TWO AGES

Abstract: Evaluating the energy properties of eucalyptus wood is essential for optimizing its use as biomass, improving energy efficiency and reducing costs in the industry. The aim of this study was to analyze the energy properties of clone I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) at different ages (9 and 13 years), checking the influence of age on the following parameters: basic density, higher calorific value and structural chemical composition (lignin, holocellulose and extractives). Five trees of the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (I144) clone were collected at ages 9 and 13 from a commercial plantation in Brasnorte - Mato Grosso. Basic density, higher calorific value, extractive content, lignin content, holocellulose content, standard deviation and statistical analysis (ANOVA) were determined. The results indicated significant differences ($p \leq 0.05$) in basic density and extractive content, with 13-year-old wood showing a higher density (531.22 kg.m^{-3}) compared to 9-year-old wood (449.51 kg.m^{-3}). The extractive content also

increased with age, ranging from 4.84 to 6.40%. However, there were no significant differences in the upper calorific value with an average of 4772 kcal.kg⁻¹ and in the lignin (32.57%) and holocellulose (62.35%) contents. The wood from clone I144 at ages 9 and 13 had suitable energy properties for use in combustion and age influenced basic density and extractive content.

Keywords: Basic Density; Structural Chemistry; Combustion; Biomass.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o eucalipto é a espécie mais plantada, com 7,83 milhões de hectares, o que corresponde a 76% da área total plantada (IBÁ, 2024). Esse destaque se deve às suas características, como o rápido crescimento, as propriedades tecnológicas e a grande versatilidade da espécie, que é utilizada como matéria-prima para geração de energia, produção de polpa celulósica, carvão vegetal, laminados, e dentre outros, que impulsionam os avanços na produção do *Eucalyptus* spp. (EMBRAPA, 2014).

A bioenergia desempenha um papel fundamental na sociedade contemporânea, impulsionando a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis. Entre essas alternativas destaca-se a biomassa, um recurso natural sustentável e de baixo impacto ambiental contribuindo para a transição energética e a redução das emissões de poluentes (IBÁ, 2024). A biomassa apresenta a vantagem de uma elevada captação de dióxido de carbono (CO₂) ao longo do seu processo de desenvolvimento, absorvendo uma quantidade superior àquela que emite (Figueiró et al, 2023).

No estado do Mato Grosso, há aproximadamente 128 mil hectares de área plantada com eucalipto (IBÁ, 2024), destinados principalmente para a geração de biomassa para processos térmicos. Observa-se que o setor agropecuário do Mato Grosso vem batendo recorde desde a safra 2022/2023 que atingiu 55 milhões de toneladas na produção de grãos e plumas (IMEA, 2025). O aumento no setor produtivo, resulta no aumento da demanda por madeira para fins energéticos (IMEA, 2017).

Dessa forma, é essencial a determinação das propriedades físicas e químicas que influenciam o desempenho energético da madeira de eucalipto, como densidade básica, teor de lignina, holocelulose, extrativos e poder calorífico superior (Miranda et al, 2018). Todavia, essas propriedades podem ser afetadas pela idade das árvores, que modifica consideravelmente as propriedades do material de origem, em função das alterações marcantes que ocorrem na madeira ao longo dos anos, até atingir sua maturidade (Vidaurre et al, 2020).

Portanto, esse trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da idade (9 e 13 anos) nas propriedades energéticas da madeira. Dentre elas, a densidade básica, o poder calorífico superior e a composição química (extrativos, lignina e holocelulose) do clone I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo, foram avaliadas árvores do clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (I144) nas idades de 9 e 13 anos, originárias de um plantio comercial em Brasnorte - Mato Grosso nas coordenadas geográficas 13° 11' 29.89" S; 57° 59' 963" O. A cidade de Brasnorte está a 266 metros acima do nível médio do mar, clima equatorial quente e úmido, precipitação anual de 2.001 mm e temperatura média anual de 26,2 °C (Zepner et al, 2020).

Para cada idade, foram coletados cinco indivíduos. A seleção dos indivíduos, considerando o diâmetro médio do talhão, foi realizada excluindo-se as árvores que tinham defeitos visuais, aquelas que sofreram efeito de bordadura, copas o mínimo possível bifurcada, mais cilíndrica e retilínea, e localizadas no interior da plantação.

De cada árvore, retiraram-se cinco discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco. Os discos foram seccionados radialmente em seis amostras de aproximadamente de 5 cm de altura e 2 cm de largura, destinados para a densidade básica, neste trabalho será avaliada a densidade média e posteriormente será avaliada a variação radial. As partes restantes foram perfuradas com uma broca forstner para produzir maravalha, que posteriormente foi processada em moinho willey (Marconi, modelo MA 304) e peneiradas. A serragem retida entre as peneiras com malha de 40 e 60 mesh foi utilizada para determinação do poder calorífico superior e análise química estrutural. Para estas análises utilizou-se uma amostra composta por árvore.

A determinação da densidade básica da madeira seguiu os procedimentos da norma NBR 11941 (ABNT, 2003). O poder calorífico superior foi determinado conforme a norma E711-87, em bomba calorimétrica adiabática (IKA C-200) (ASTM, 2004).

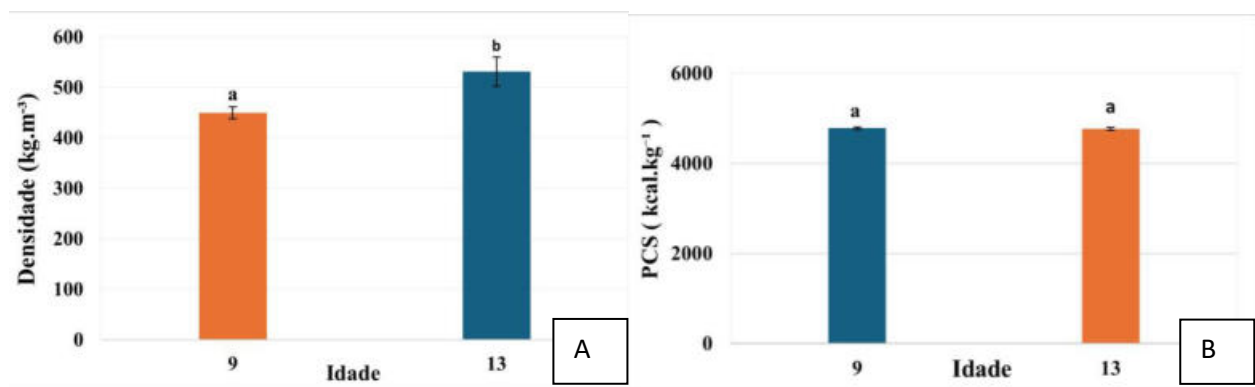
A determinação dos extrativos seguiu as normas ASTM D1105-96 (2013), ASTM D1107-96 (2013) e ASTM D1110-84 (2013), utilizando três processos: extração em etanol, em etanol-tolueno (2:1) no Soxhlet e em água quente (banho-maria). Para determinar o teor de lignina, as amostras foram dissolvidas em ácidos, e o teor de lignina total foi obtido pela soma das ligninas insolúvel e solúvel, conforme Gomide e Demuner (1986) e Goldschimid (1971). O teor de holocelulose foi determinado subtraindo-se de 100 a soma dos teores de lignina e extrativos totais.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos de idades (9 e 13 anos) e cinco repetições (árvores), totalizando 10 amostras. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a influência da idade sobre as variáveis estudadas. Quando identificadas diferenças estatisticamente significativas, aplicou-se o teste de T e F ($\alpha = 5\%$) para comparação entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada no software RStudio versão 4.2.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de densidade obtidos neste estudo (Figura 1A) situam-se dentro da faixa usualmente estabelecida para madeira de *Eucalyptus* com idades entre 9 e 10 anos, que variam de 494 a 589 kg.m⁻³, conforme Ramos et al. (2023). A densidade é considerada um importante indicador para o uso energético, pois, quanto maior for a densidade da madeira, maior será a quantidade de energia armazenada por unidade de volume do materia (Boschetti et al., 2020). Dessa forma, a madeira com 13 anos de idade pode ser considerada de melhor qualidade para essa finalidade.

Figura 1. Valores médios da A - densidade básica da madeira (kg.m⁻³), B – Poder Calorífico Superior (kcal.kg⁻¹) da madeira de um clone de eucalipto em duas idades



Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo Teste T e F, ($p \leq 0,05$); desvio-padrão da média das diferentes idades avaliadas.

Para a densidade básica, verificou-se diferença estatística, na qual foi observado que a madeira de eucalipto com 13 anos apresentou uma média de 531,22 kg.m⁻³, valor aproximadamente 17% superior ao encontrado para a madeira com 9 anos de idade (Figura 1A). No estudo de Brito et al. (2020), foi constatado que a densidade da madeira aumenta gradualmente ao longo dos anos, sendo esse crescimento influenciado por fatores como o número e o tamanho das células, a espessura da parede celular e a quantidade de extrativos presentes. De acordo com os mesmos autores, com o avanço da idade, ocorre um alongamento das fibras, um espessamento das paredes celulares e o acúmulo de substâncias extratáveis tanto no lúmen quanto nas paredes celulares, fatores que contribuem diretamente para o aumento da densidade da madeira de eucalipto.

Em relação ao poder calorífico superior (Figura 1B), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias, com valores variando entre 4.779 e 4.765 kcal.kg⁻¹. O poder calorífico representa a quantidade de energia disponível na madeira que pode ser liberada durante a combustão (Carneiro et al., 2014), assim a madeira terá o mesmo efeito, independente da idade. Segundo estes mesmos autores, materiais com maior poder calorífico possuem uma quantidade superior de energia a ser liberada durante o processo de combustão, o que impacta diretamente no custo operacional, visto que, ao utilizar materiais de maior qualidade, há uma redução no consumo de madeira necessário para a geração de uma determinada quantidade de energia.

Os valores encontrados de poder calorífico superior nesse estudo para o clone I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) estão dentro do intervalo verificado na literatura, Soares et al. (2014), ao investigarem diferentes clones de eucalipto com sete anos de idade, obtiveram um valor médio de poder calorífico superior de 4.385 kcal.kg⁻¹, enquanto no estudo de Silva et al. (2022), os valores médios de poder calorífico superior para o clone I144, com 13 anos, variam entre 4.312 e 5.085 kcal.kg⁻¹.

Para a composição química estrutural da madeira em diferentes idades de eucalipto, apenas o teor de extrativos apresentou diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios da composição química estrutural da madeira de uma clone de eucalipto em duas idades

Idade	Extrativos(%)	Lignina Total(%)	Holocelulose(%)
9	4,84 ^(0,3870) a	33,00 ^(1,4401) a	62,64 ^(1,4985) a

Idade	Extrativos(%)	Lignina Total(%)	Holocelulose(%)
13	6,40 ^(1,0675) b	31,78 ^(0,4226) a	62,06 ^(1,3686) a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo Teste T e F, ($p \leq 0,05$).; () :Desvio-padrão da média das diferentes idades avaliadas.

O teor de lignina total da madeira não apresentou variação significativa entre as médias conforme Tabela 1, variando de 31,78 a 33%. A presença elevada de lignina é considerada benéfica para o uso energético, uma vez que esse composto possui uma maior porcentagem de carbono elementar em sua estrutura, contribuindo para um poder calorífico superior (Santos et al., 2016).

O teor de holocelulose da madeira também não apresentou variação significativa entre as médias (Tabela 1), com valores próximos a 62,35%. Para fins de utilização energética, materiais com maior teor de lignina e menor teor de holocelulose são mais desejáveis.

Por outro lado, o teor de extrativos variou entre 4,84% e 6,40%, apresentando diferenças estatisticamente significativas (Tabela 1). Para a utilização da biomassa como fonte energética, materiais com maior teor de extrativos são preferíveis, exceto aqueles a base de carboidratos, pois esses compostos apresentam maior resistência térmica, com degradação ocorrendo em temperaturas elevadas (250 – 550 °C) (Protásio et al., 2014; Gonçalves et al., 2017). Soares et al. (2014) determinaram que o teor de extrativos tende a aumentar com a idade do material. Adicionalmente, o teor de materiais voláteis das diferentes amostras avaliadas apresentou valores superiores aos relatados por esses autores, o que corrobora a maior presença de extrativos na madeira.

4. CONCLUSÃO

Houve influência da idade, 9 e 13 anos, na densidade básica e teor de extrativos para a madeira do clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (I144).

Independente da idade apresentaram propriedades energéticas satisfatórias para a sua utilização como combustível via combustão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Arefloresta e ao Grupo Mônica; ao Laboratório de Tecnologia da Madeira e à Universidade Federal de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 11941. Madeira: determinação da densidade básica. ABNT, 2003.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM. E711-87: **Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter**. Philadelphia, 8p., 2004.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM D1105-96(2013): **Standard Test Method for Preparation of Extractive-Free Wood**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM D1107-96(2013): **Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM D1110-84(2013): **Standard Test Methods for Water Solubility of Wood**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

BRITO, A. S. ; SILVA, J. G. M. ; VIDAURRE, G. B. ; TRUGILHO, P. F. Influência da idade nas propriedades da madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. (orgs.). *Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil*. Vitória: EDUFES, 2020. C. 4, p. 104 – 131. ISBN 978-65-88077-04-7.

BOSCHETTI, W. T. N. ; VIDAURRE, G. B. ; SILVA, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. (orgs.). *Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil*. Vitória: EDUFES, 2020. C. 5, p. 104 – 131. ISBN 978-65-88077-04-7.

CARNEIRO, A. C. O., CASTRO, A. F. N. M., CASTRO, O. R. V. et al., **Potencial energético da madeira de Eucalyptus sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos**, Revista Árvore, v.38, n.2, pp.375-381. Viçosa/ MG. 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Apostila da Série de Transferência de Tecnologia: Eucalipto**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1010933/1/ApostilaSerieTTEucalipto.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

FIGUEIRÓ, C. G. et al. **Tecnologia de carbonização TecnoRed: produção sustentável de biocarbono para descarbonização da indústria**. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/hb6lqek7trdffjskq74yw34nki/access/wayback/https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/download-pdf/tecnologia-de-carbonizacao-tecnored-producao-sustentavel-de-biocarbono-para-descarbonizacao-da-industria-siderrgica>.

GOLDSCHMID, O.; SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed.). **Ultraviolet spectra. In Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: J. Wiley, 1971. p. 241- 298.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado**. O Papel, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONÇALVES, F. G; LELIS, R. C. C; ANDRADE, W. S. P. **Engenharia Madeireira: Pesquisa e Produção**. UFFRJ – Seropédica – RJ. Editora Edur, 253p. 2017

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBA 2024**. São Paulo: IBA, 2024. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA (IMEA). **Dashboard de comercialização de grãos e plumas em Mato Grosso**. IMEA, 2025. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/dashboards?c=5&d=1136862482273345536>. Acesso em: 16 abr. 2025.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA (IMEA). *Análise de clusters de etanol de milho em Mato Grosso*. Cuiabá: IMEA, 2017. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/view/uploads/estudos-customizados/AnaliseClusterEtanolMilho.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2025.

MIRANDA, F. de S.; CARVALHO, A. M.; BRITO, J. O.; SILVA, T. A.. **Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável**. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 42, e1546, 2022.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R. de.; TRUGILHO, P.F. **Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, mar. 2014.

RAMOS, D. C. et al. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de quatro clones de *Eucalyptus* com idades entre 108 e 120 meses**. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509848302>.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. **Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal**. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657 - 669, 2016.

SOARES, V. C. et al. **Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300017>.

SILVA, R. C.; MARCHESAN, R.; LOPES, V. C.; GOMES, B. K. S.; EUFRAZIO, T. P.; ALVAREZ, S. F.; RODRIGUES, B. S.; MENDES, J. G. N.; SARAIVA, K. F.; FARIAS, B. B. **Avaliação dos índices de qualidade energética do fuste e do galho do clone de *Eucalyptus spp.*** In: **Tecnologia de Produtos Florestais: pesquisas e desenvolvimento**. Vol. 1. Editora Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-232-8.

ZEPNER, Laura; KARRASCH, Pierre; WIEMANN, Felix; BERNARD, Lars. *ClimateCharts.net – uma plataforma interativa de análise climática na web*. *International Journal of Digital Earth*, 2020. Disponível em: <https://climatecharts.net/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

POTENCIAL ENERGETICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA

Arthur Pedro Alves Fernandes^{*1}; Enzo Aurelio Baruff de Brito e Cunha¹; Gabriel Almeida Bastos¹; Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Gustavo Strack Jagger Pereira²; Pedro Augusto Fonseca Lima¹; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Junior¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Escola de agronomia, Universidade Federal de Goiás, Brasil. ² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília.

**Arthur Pedro Alves Fernandes (E-mail): arthur_pedro@discemte.ufg.br*

Resumo: Com o aumento do interesse mundial na substituição de combustíveis de origem fóssil por energias de fontes renováveis, a utilização de biomassa vegetal para a geração de energia se mostra uma alternativa viável. Com o intuito de diversificar o material de origem dessa biomassa, surge o aproveitamento de resíduos provenientes de poda urbana como uma alternativa para a produção de energia. O objetivo deste estudo foi o de avaliar a qualidade energética de briquetes e da biomassa *in natura* produzidos a partir de resíduos triturados de poda urbana da cidade de Curitiba – PR. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia da Universidade Federal de Goiás. Em relação a biomassa foram realizadas análises, quanto à granulometria, umidade (U%), densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS), poder calorífico útil (PCU), densidade energética a granel, teor de cinzas, voláteis e carbono fixo. Para aos briquetes foram analisados a densidade volumétrica, friabilidade, umidade, densidade energética, expansão volumétrica, carga máxima, resistência à tração por compressão diametral (RTCD). Foram realizadas cinco repetições em cada uma das análises, a partir dos resultados obtidos, foi possível observar que tanto a biomassa quanto os briquetes do resíduo de poda urbana possuem potencial para aproveitamento energético.

Palavras-chave: Energia; Briquete; Biomassa; Biocombustível.

ENERGY POTENTIAL OF URBAN PRUNING WASTE

Abstract: With the increasing global interest in replacing fossil fuel sources with renewable energy, the use of plant biomass for energy generation proves to be a viable alternative. In order to diversify the source material for this biomass, the utilization of waste from urban pruning emerges as an alternative for energy production. The objective of this study was to evaluate the energy quality of briquettes and raw biomass produced from shredded urban pruning waste in the city of Curitiba - PR. The study was conducted at the Wood Quality and Bioenergy Laboratory of the Federal University of Goiás. Regarding the biomass, analyses were performed on particle size, moisture content (U%), bulk density (DG), higher heating value (PCS), useful heating value (PCU), bulk energy density, ash content, volatile matter, and fixed carbon. For the briquettes, density, friability, moisture content, energy density, volumetric expansion, maximum load, and tensile strength by diametral compression (RTCD) were analyzed. Five repetitions were conducted for each of the analyses, and based on the results obtained, it was possible to observe that both the biomass and the briquettes from urban pruning waste have potential for energy utilization.

Keywords: Energy; Briquette; Biomass; Biofuel.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma matriz energética muito diversificada, e em se tratando da energia elétrica, é baseada no uso de fontes renováveis, sendo a hidrelétrica, a maior porção de uso dessa modalidade de energia, com cerca de 65,2% (EPE, 2021). Contudo, a crise hídrica vivenciada em alguns estados brasileiros nos anos de 2020 e 2021, expôs uma fragilidade que esse setor poderá voltar a sofrer futuramente, pois as usinas hidrelétricas passaram por dificuldades para manterem seus reservatórios com volume para pleno funcionamento, gerando transtornos aos usuários (MENDONÇA et al., 2021).

Nesse contexto, o uso de biomassa vegetal para a produção de energia surge como uma alternativa para aliviar a pressão em cima das usinas hidrelétricas. Esse setor representa 9,1% da matriz energética brasileira (EPE, 2021), porém com sua vasta extensão territorial, o Brasil tem capacidade para aumentar essa porcentagem, visto que se aproveita pouco os resíduos verdes provenientes de poda, lavouras e plantios florestais (MENDONÇA et al., 2021).

Com isso este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial energético da biomassa e briquetes produzidos a partir de resíduos de poda urbana.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a fabricação dos briquetes foi realizada a compactação da biomassa dos resíduos de poda urbana em uma briquetadeira de laboratório LIPPEL com temperatura de 120 °C, com pressão de 1200 kgf.cm⁻², tempo de compactação de 5 minutos e resfriamento de 10 minutos com ventilação forçada, sendo que, para cada briquete foi utilizado 40 g de biomassa triturada.

Em relação a biomassa, foram realizadas análises de granulometria, umidade (U%), densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS), poder calorífico útil (PCU), densidade energética a granel, teor de cinzas, voláteis e carbono fixo (Cf). Para os briquetes, foram analisadas a densidade, friabilidade, umidade, densidade energética, expansão volumétrica, carga máxima, resistência à tração por compressão diametral (RTCD).

Para determinar a umidade da biomassa e do briquete utilizou-se a equação da ABNT NBR 14929 (ABNT,2003):

$$U\% = (M_i - M_f) / M_f \times 100 \quad (1)$$

Em que: *U%*: Umidade; *M_i*: Massa inicial (g); *M_f*: Massa final (g).

O PCS foi analisado utilizando a bomba calorimétrica maraca IKA C5003 com base na metodologia estabelecida na norma ABNT NBR 8633/84. O PCU foi calculado a partir da seguinte equação:

$$PCU = PCS((100 - U\%)/100 - 6 * U\% \quad (2)$$

Em que: *PCU* : poder calorífico útil (MJ. kg⁻¹); *PCS*: poder calorífico superior (MJ. kg⁻¹).

Para avaliar a densidade aparente dos briquetes foi utilizado o método estequiométrico, o qual consistiu em obter o volume a partir de medições utilizando um paquímetro com precisão milimétrica, e a massa do briquete em uma balança com precisão de 0,001 gramas.

Para análise da friabilidade, observou-se a perda de massa das amostras. Os briquetes foram pesados para obtenção da massa inicial (mid em g) e na sequência foram levados a uma peneira vibratória, permanecendo por 5 minutos, a 80 rotações por minutos. Após esse procedimento os

briquetes foram novamente pesados para obtenção da massa final (*mfd* em g). A friabilidade foi calculada por meio da Equação 3:

$$\text{Friabilidade} = 100 - [(mid - mfd) / MID * 100\%] \quad (3)$$

Em que: *mid*: massa inicial (g); *mfd*: massa final (g).

A expansão volumétrica dos briquetes foi calculada pela mensuração da altura e do diâmetro dos briquetes, e posteriormente calculado o volume em dois momentos diferentes: (i) imediatamente após a briquetagem e (ii) 96 horas após a briquetagem.

Para a RTCD utilizou-se uma máquina Instron modelo 3367, com célula de carga de 30 kN, a uma velocidade constante de 3 mm/min, onde uma carga em sentido transversal foi aplicada sobre as amostras até ocorrer fratura delas. Para o cálculo da RTCD foi utilizado a seguinte equação:

$$RTCD = 2 * (CM / (\pi * h * d)) \quad (4)$$

Em que: *CM*: carga máxima (N); *h*: altura do briquete (cm); *d* diâmetro do briquete (cm).

Para análise do teor de cinzas, foram separadas em cadinhos sem tampa 5 amostras com 1 grama da biomassa e levados ao forno mufla a 600 °C por 5 horas. Para a análise de voláteis, 5 amostras de 1 grama da biomassa foram colocadas em cadinhos fechados com tampa, e levados ao forno mufla a 900 °C por 10 minutos. A porcentagem de carbono fixo foi dada pela Equação 5:

$$Cf = 100 - (\text{Voláteis} + \text{Cinzas}) \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biomassa *in natura*

A média da umidade encontrada no estudo foi de 9,74% (Tabela 1). Uma alta umidade é prejudicial ao processo de combustão (VIEIRA, 2012), portanto é um fator de alta importância visando a produção energética através da queima.

Para os teores de materiais voláteis, a média foi de 78,5% (Tabela 1) que está dentro do intervalo de 65 a 85% esperado para espécies florestais de aproveitamento energético. Com uma média de 3,35% para cinzas (ARANTES et al., 2013) aproximando dos valores de 82,2% encontrados para *Eucalyptus urograndis*, uma espécie muito utilizada para aproveitamento energético no Brasil (SETTE JR et al., 2016) e aos 82% da biomassa de *Pinus* sp. (OLIVEIRA et al., 2017). A biomassa do resíduo de poda urbana apresentou uma média de 18,1% (Tabela 1) para carbono fixo superando o valor de 17,4% para biomassa de *Pinus* sp. (OLIVEIRA et al., 2017).

O PCS encontrado foi de 4417,21 kcal.kg⁻¹ (18,55 MJ/kg), conforme Tabela 1, próximo a valores encontrados para resíduos florestais, 4521 kcal.kg⁻¹ (DE SOUZA & DO VALE, 2016). A média dos valores de PCU encontrados foram de 3928,67 kcal.kg⁻¹ (16,5 MJ.kg⁻¹), de acordo com Tabela 1.

A média encontrada para a densidade energética a granel foi de 3875,61 MJ/m³ (Tabela 2), valor superior à média de 2960,9 MJ/m³ encontrada para a biomassa de madeira de *Pinus* sp. (OLIVEIRA et al. 2017), indicando que o material possui boa característica energética.

Tabela 1: Dados da análise energética na biomassa *in natura* dos resíduos da poda urbana

Repetição	Densidade a granel (kg m ³)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	PCSuperior (MJ kg ⁻¹)	PCÚtil (MJ kg ⁻¹)
1	210,5	7,96	3,395	77,73	18,87	18,59	16,91
2	249,5	10,68	3,525	78,25	18,22	18,55	16,30
3	247,2	9,95	3,558	78,73	17,71	18,51	16,42
4	241,6	9,87	3,158	79,56	17,28	18,55	16,47
5	226,3	10,23	3,133	78,24	18,63	18,55	16,39
Média	235,0	9,74	3,354	78,50	18,14	18,55	16,50

3.2 Briquete

Os briquetes apresentaram um valor médio de 99,8% de durabilidade (Tabela 2), sendo considerados pouco friáveis (MINAS GERAIS, 1979). Essa característica é fundamental para atividades de logística e transporte do material pois mostra que os briquetes possuem estrutura íntegra e de difícil desagregação.

A Umidade (U%) obteve um resultado médio de 7,6% (Tabela 2), que está bem próximo da faixa de 8% a 15% considerado necessário para a aglomeração de partículas (GENTIL, 2008). Valores de umidade muito abaixo desse nível, dificultam a transferência de calor entre partículas, tornando o processo de compactação menos eficiente (QUIRINO et al., 2012).

O valor médio encontrado da densidade energética foi de 21051,9 MJ/m³ (Tabela 2) e se aproxima do resultado médio encontrado para briquetes madeira de *Pinus* sp. de 24120,3 MJ/m³ (OLIVEIRA et al., 2017).

A média de expansão volumétrica dos briquetes mensurada após 96 horas depois de sua fabricação foi de 1,35% (Tabela 2). A média encontrada para a resistência mecânica foi de 3,62 Mpa (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados energéticos dos briquetes produzidos com resíduos da poda urbana.

Repetição	Densidade (g cm ³)	Friabilidade (%)	Teor de Umidade (%)	Expansão volumétrica -96hrs (%)	RTCD (MPa)
1	1,22	99,83	7,38	0,22	3,79
2	1,22	99,80	7,74	2,10	3,35
3	1,24	99,81	7,56	1,62	3,29
4	1,26	99,83	8,02	1,51	3,66
5	1,25	99,75	7,29	1,30	4,00
Média	1,24	99,80	7,60	1,35	3,62

4. CONCLUSÃO

Tanto a biomassa *in natura* quanto os briquetes produzidos de resíduos de poda urbana possuem potencial para a geração de energia.

Por passarem por um processo de densificação, os briquetes apresentam características melhores para aproveitamento energético em relação a biomassa *in natura*, se tornando uma melhor opção principalmente em operações de logística que envolvem transporte e armazenamento deste material.

REFERÊNCIAS

ARANTES, M.D.C.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; ANDRADE, C.R. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex maiden x *Eucalyptus urophylla* S. t. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, jul./set. 2013

DE SOUZA, Frederico; DO VALE, Ailton Teixeira. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 36, n. 88, p. 405-413, 2016.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF, 2008.

MENDONÇA, C. et al. Resíduos sólidos urbanos de poda de gramíneas como fonte alternativa de energia: um estudo de caso na cidade de Rosana. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e124101320803-e124101320803, 2021.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 /Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 61p. 2015.

OLIVEIRA, L. H. et al. Aproveitamento de resíduos madeireiros de *Pinus* sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de descartes ligno-celulósicos. **Biomassa e Energia**. V1, n2, p 173-182. 2004.

QUIRINO, W. F. et al. **Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira X Ray densitometry for waste wood briquetts analysis**. 2012.

SETTE JR, C. R. et al. Production and characterization of bamboo pellets. **Bioscience jornal**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p. 992-930, jul. 2016.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. **Universidade Estadual do Oeste do Paraná Cascável**, p. 33, 2012.

VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE CAVACO DE EUCALIPTO E CASCA DE ARROZ

Isabela Maria Victoria de Holanda¹; Luiza Catarina Lobo de Godoi^{1*}; Arthur Pedro Alves Fernandes¹; Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Gabriel Almeida Bastos¹; Patricia Pereira Pires¹; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Junior¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): luiza.godoi@discente.ufg.br

Resumo: A demanda por fontes de energia renováveis tem aumentado globalmente, e a biomassa tem se destacado como uma alternativa promissora. Este estudo avaliou o potencial energético do cavaco de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e da casca de arroz (*Oryza sativa*), bem como de suas misturas em diferentes proporções. Os materiais foram caracterizados quanto ao teor de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo, densidade a granel, poder calorífico e densidade energética. Os resultados indicaram que o cavaco de eucalipto apresentou desempenho energético superior em relação à casca de arroz, devido ao seu maior poder calorífico, menor teor de cinzas e maior densidade a granel. O aumento da proporção de casca de arroz nos tratamentos resultou em uma redução significativa no teor de materiais voláteis, no poder calorífico e na densidade energética, enquanto o teor de cinzas aumentou consideravelmente. No entanto, a mistura com 75% de cavaco de eucalipto e 25% de casca de arroz manteve características energéticas semelhantes ao tratamento com 100% de cavaco de eucalipto, representando uma alternativa viável para indústrias que buscam reduzir custos sem comprometer a eficiência do combustível. Esses resultados ressaltam a importância da análise técnica e econômica na escolha da biomassa para geração de energia.

Palavras-chave: Biomassa, Bioenergia, Caracterização energética.

TECHNICAL FEASIBILITY OF ENERGY UTILISATION FROM EUCALIPT WOOD AND RICE HUSK

Abstract: The demand for renewable energy sources has increased globally, and biomass has stood out as a promising alternative. This study evaluated the energy potential of eucalyptus chips (*Eucalyptus* sp.) and rice husks (*Oryza sativa*), as well as their mixtures in different proportions. The materials were characterized in terms of volatile material content, ash, fixed carbon, bulk density, calorific value and energy density. The results indicated that eucalyptus chips performed better energetically than rice husks, due to their higher calorific value, lower ash content and higher bulk density. Increasing the proportion of rice husk in the treatments resulted in a significant reduction in the volatile material content, calorific value and energy density, while the ash content increased considerably. However, the mixture with 75% eucalyptus chips and 25% rice husk maintained similar energy characteristics to the treatment with 100% eucalyptus chips, representing a viable alternative for industries looking to reduce costs without compromising fuel efficiency. These results highlight the importance of technical and economic analysis when choosing biomass for energy generation.

Keywords: Biomass, Bioenergy, Energy characterisation.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população global, a geração de biomassa também está aumentando, e para atingir as metas de desenvolvimento sustentável e economia circular, converter biomassa em produtos de energia renovável é crucial (CHAUDHARY *et al.*, 2025). Para fins de produção de energia, resíduos florestais, biomassa agrícola e culturas de biomassa cultivadas para esse fim desempenharão papéis importantes como matéria-prima de biomassa (ANTAR *et al.*, 2021).

Na escolha das espécies para fins energéticos o poder calorífico é uma das características mais observadas, uma vez que esta relacionado com a quantidade de energia que será liberada pela madeira durante a sua queima direta (SANTOS *et al.*, 2013). Paralelamente, a densidade energética emerge como outro parâmetro fundamental, pois quantifica a energia contida por unidade de volume do material, sendo determinante para avaliar o potencial energético da biomassa (SETTE JR *et al.*, 2020).

A silvicultura é essencial para o fornecimento de biomassa florestal, destacando-se a cultura do eucalipto, cuja produtividade atinge 33,7 m³/ha/ano (com casca), com idade média de 7,2 anos (IBÁ, 2024). O gênero *Eucalyptus* apresenta alta densidade energética, sendo amplamente utilizado na geração de calor (CORTEZ *et al.*, 2009).

Os resíduos agrícolas representam um desafio ambiental, mas também uma oportunidade para a produção de bioenergia. A casca de arroz se apresenta como uma ótima opção, pois possui características adequadas para geração de energia, como granulometria, baixo teor de umidade e alto teor de voláteis (LIMA *et al.*, 2019). Seu aproveitamento energético minimiza impactos ambientais e agrega valor ao setor agroindustrial, evitando descartes inadequados (FONSECA, 2000).

Diante disso, a combinação da casca de arroz com cavacos de *Eucalyptus sp.* surge como uma alternativa promissora para a produção de biocombustíveis sólidos, contribuindo para uma matriz energética diversificada. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial energético da combinação de cavaco de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) e casca de arroz (*Oryza sativa*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil. Foram caracterizadas duas fontes de biomassa: o cavaco de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) e a casca de arroz (*Oryza sativa*), obtidos em uma empresa de alimentos de Goiás. As amostras de cavaco foram retiradas de diversos pontos do estoque da empresa, assim como a casca de arroz, para se ter uma amostra representativa do material. Foram delineados os seguintes tratamentos:

Tabela 1. Descrição dos tratamentos delineados para caracterização do cavaco de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) e a casca de arroz (*Oryza sativa*).

Tratamento	Descrição
1	100% cavaco de <i>Eucalyptus sp.</i>
2	25% casca de arroz 75% cavaco de <i>Eucalyptus sp.</i>
3	50% casca de arroz 50% cavaco de <i>Eucalyptus sp.</i>
4	75% casca de arroz 25% cavaco de <i>Eucalyptus sp.</i> ;
5	100% casca de arroz

O teor de materiais voláteis foi determinado com a norma ASTM E872-82 e o teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ASTM D1102- 84.34, a partir do material retido na peneira de 60 mesh. O teor de carbono fixo é uma medida indireta e foi calculado por meio da equação

abaixo:

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: CF = Teor de Carbono Fixo (%); CZ = Teor de Cinzas (%); MV = Mat. Voláteis (%).

A densidade a granel foi determinada de acordo com a norma ASTM D5057-10 (2019), e calculada conforme Equação 2.

$$DG = Ma / Vc \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: DG = Densidade a granel (Kg.m³); Ma = Massa da amostra (kg); Vc = Volume do contentor (m³).

O Poder Calorífico Superior (PCS) de cada tratamento foi determinado por meio de uma combinação linear ponderada dos valores de referência obtidos na literatura considerando as proporções massivas de cada componente nas misturas. Para a madeira de eucalipto foi considerado o valor de 4.600 kcal/kg (Neves et al., 2011; Carneiro et al., 2014) e para a casca de arroz o valor de 3.908 kcal/kg (Diniz et al., 2004). Os valores para o poder calorífico inferior foram calculados a partir dos valores do poder calorífico superior de cada um dos tratamentos, pela equação 3:

$$PCI = PCS - 600 * (9H/100) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: H o teor de hidrogênio do material, e 600 valor médio da energia absorvida/kg de água para atingir temperatura de evaporação.

A densidade energética foi calculada pelo produto entre o poder calorífico superior e a densidade aparente do material, conforme a equação 4:

$$DE = PCS * DB \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo: DE = Densidade energética expressa em Mj.m⁻³; (fator de conversão de Kj para Mj); PCS = Poder calorífico superior em Kj.kg⁻³; DB = Densidade aparente expressa em Gcal m⁻³.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e foi aplicada a análise de variância (ANOVA), verificado o efeito significativo das fontes de variação (tratamentos), sendo aplicado o teste de Tukey para comparação das médias ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, encontrou-se que a casca de arroz (T5 = 100% casca de arroz) apresenta um teor elevado de cinzas e uma fração menor de materiais voláteis quando comparada ao cavaco de eucalipto (T1 = 100% cavaco de *Eucalyptus* sp.). Ao misturar essas duas biomassas em diferentes proporções, encontrou-se diferenças significativas nos teores de cinzas e materiais voláteis, enquanto o teor de carbono fixo permaneceu relativamente constante (Tabela 2). Esses resultados demonstraram que, nas proporções avaliadas, a variação na composição das biomassa exerce maior influência sobre os teores individuais de materiais voláteis e cinzas do que sobre o carbono fixo.

Tabela 2: Valores médios da análise imediata, poder calorífico superior e inferior para os diferentes tratamentos do estudo das biomassas do cavaco de *Eucalyptus* sp. e casca de arroz.

Tratamento	MV (%)	CZ(%)	CF (%)	PCS (kcal.kg1)	PCI (kcal.kg1)
1	86,92 a (0,40)	1,06 e (5,39)	12,01 a (2,93)	4600 a (0,12)	4276 a (0,13)

2	82,59 b (0,40)	4,95 d (5,39)	12,45 a (3,37)	4278 b (0,04)	4103 b (0,05)
3	79,26 c (0,93)	8,84 c (0,38)	12,88 a (7,02)	4254 c (0,03)	3930 c (0,03)
4	73,93 d (1,04)	12,73 b (0,08)	13,32 a (1,56)	4081 d (0,02)	3757 d (0,31)
5	69,60 e (1,04)	16,63 a (0,08)	13,76 a (5,35)	3908 e (0,04)	3584 e (0,05)

Tratamentos: 1= 100% cavaco de *Eucalyptus* sp.; 2= 25% casca de arroz 75% cavaco de *Eucalyptus* sp.; 3= 50% casca de arroz 50% cavaco de *Eucalyptus* sp.; 4= 75% casca de arroz 25% cavaco de *Eucalyptus* sp.; 5= 100% casca de arroz. MV= teor de materiais voláteis; CZ= teor de cinzas; CF= teor de carbono fixo; PCS= poder calorífico superior. Médias seguidas de coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de significância.

Os teores de materiais voláteis apresentaram diferença significativa entre todos os tratamentos, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos com maiores percentuais de casca de arroz (Tabela 2).

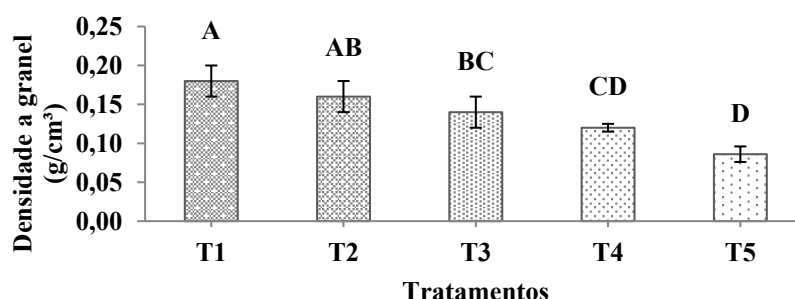
Para os teores de cinza houve diferenças significativas entre todos tratamentos. Os maiores valores encontrados foram para aqueles com um maior percentual de casca de arroz em sua composição (Tabela 2). Os maiores teores de cinzas não são interessantes do ponto de vista energético, uma vez que contribuem para a redução do poder calorífico superior, pois não participam do processo de combustão, entendendo que teores de cinza até 1,5 % são aceitáveis para uma biomassa (BRAND, 2010). Foi observado que somente o Tratamento 1 (100% cavaco de *Eucalyptus* sp.) se enquadra nos padrões para essa variável.

O teor de carbono fixo foi semelhante entre todos os tratamentos e não apresentou diferença significativa, independentemente da proporção de cavaco de eucalipto e casca de arroz (Tabela 2). Esse resultado se deve à relação inversa entre materiais voláteis e cinzas, pois o carbono fixo é calculado indiretamente a partir dessas variáveis. Conforme observado por Spanhol *et al.* (2015), quanto maior a quantidade de carbono fixo, mais lenta será a queima e maior será o tempo de permanência do material dentro dos queimadores, quando comparado com outros materiais com menores teores de carbono fixo.

Os valores do poder calorífico superior (PCS) e do poder calorífico inferior (PCI) foram maiores no tratamento T1 (100% cavaco de *Eucalyptus* sp.), seguido pelo tratamento T2 (25% casca de arroz 75% cavaco de *Eucalyptus* sp.). Os menores valores encontrados foram nos tratamentos T4 e T5, que possuem em sua composição um maior percentual de casca de arroz. O poder calorífico é um parâmetro relevante para a avaliação do potencial energético de biomassas (CASTELLAN, 1986).

Para a densidade à granel foram encontradas médias que variaram de 0,18 a 0,10 g.cm⁻³ (Figura 1). O tratamento T5 (100% casca de arroz) apresentou a menor média dessa variável, seguido pelos tratamentos T4, T3, T2 até o tratamento T1 (100% cavaco de *Eucalyptus* sp.) em que observamos a maior média da densidade à granel.

Figura 1: Densidade a granel de diferentes proporções de cavaco de eucalipto e casca de arroz.

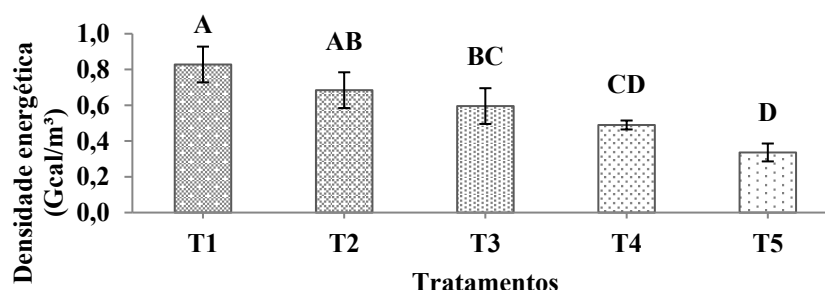


Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de significância.

O valor médio de densidade a granel verificado para o tratamento T1 ($0,18 \text{ g.cm}^{-3}$) corroborou com os encontrados no estudo de Pereira *et al.* (2016) para *Eucalyptus sp.*, assim como a média para o tratamento T5 ($0,086 \text{ g.cm}^{-3}$) está de acordo com o mencionado por Ferreira *et al.* (2008) para casca de arroz, e por consequência as médias encontradas na combinação das duas biomassas nos demais tratamentos. A baixa densidade a granel inviabiliza o transporte a maiores distâncias por ocupar grandes volumes, além do baixo conteúdo energético contido por unidade volumétrica, características presentes na maioria das biomassas de origem vegetal (NHUCHEN *et al.*, 2014).

A densidade energética, que é o produto entre a densidade a granel e o poder calorífico, foi estatisticamente superior no tratamento T1 que apresentou ser significativamente diferente de todos os demais, provavelmente em função do poder calorífico mais elevado do *Eucalyptus sp.* (Figura 3).

Figura 3 — Densidade energética de diferentes proporções de cavaco de eucalipto e casca de arroz.



Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de significância.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo ficou evidenciado que o cavaco de *Eucalyptus sp.* possui maior potencial energético em comparação com misturas contendo casca de arroz, destacando-se pelo maior PCS, teor de materiais voláteis, densidade a granel e densidade energética, além de menores teores de cinzas. A adição de casca de arroz resultou na redução do poder calorífico, materiais voláteis e a densidade energética, enquanto aumentou significativamente o teor de cinzas. O carbono fixo, porém, não foi influenciado pela proporção de casca de arroz.

Por outro lado, a mistura de 75% de cavaco de *Eucalyptus sp.* e 25% de casca de arroz mantém as características energéticas semelhantes ao tratamento com 100% de cavaco de *Eucalyptus sp.*. Esse resultado demonstra que, além do desempenho técnico, aspectos econômicos são decisivos na seleção de biomassas para geração de energia.

REFERÊNCIAS

- ANTAR, Mohammed *et al.* Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 139, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110691>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120309758?via%3Dihub>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1102-84 - Standard Test Method for Ash in Wood. West Conshohocken, PA: ASTM, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5057-10: standard test method for gross calorific value of coal and coke. West Conshohocken; 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E872-82 - Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshohocken, PA: ASTM, 2006.
- BRAND, M. A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2010. 131p.
- CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, F.N.M.; CASTRO, R.V.O.; SANTOS, R.C.;
- FERREIRA, L.P.; DAMASIO, R.A.P.; VITAL, B.R. Potencial energético da madeira de Eucalyptus sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p.375-381, 2014.
- CASTELLAN, G. **Fundamentos de Físico-Química**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e Científicos Editora Ltda. 1986.
- CHAUDHARY, Anu *et al.* Recent technological advancements in biomass conversion to biofuels and bioenergy for circular economy roadmap. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 244, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122714>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148125003763>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008.
- DINIZ, J.; et al. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v.26, n.2, p.25-32, jul./dez. 2004.
- FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. 2008.
- FONSECA, E. P. Padrão de qualidade de mudas de Trema micrantha (L.) Blume., Cedrela fissilis Vell e Aspidosperma polyneuron Muil Arg. Produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. Jaboticabal, 2000. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (Ibá). **Relatório Anual 2024**. São Paulo: Ibá, 2024. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- LIMA, A. M. et al. A casca de arroz como fonte de energia em empresas beneficiadoras do grão. **Exacta**, v. 17, n. 4, p. 375–382, 2019.

NEVES, T. A et al. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319–330, 2011.

NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction. **International Journal of Renewable Energy & Biofuels**, v. 2014, p. 56, 2014.

PEREIRA, M.P. de C.F.; COSTA, E.V.S.; PEREIRA, B.L.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; CARNEIRO, A. de C.O.; OLIVEIRA, A.C. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 269-275, 2016.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. de. **Bioenergia e biorrefinaria**: cana de-açúcar e espécies florestais. 1 ed. Minas Gerais: Viçosa, 2013.

SETTE JR, C. R. et al. Forest harvest byproducts: Use of waste as energy. **Waste Management**, v. 114, p. 196-201, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.001>.

SPANHOL, A.; NONES, D.L.; KUMABE, F.J.B.; BRAND, M.A. Qualidade dos *pellets* de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. **Floresta**, v. 45, n.4, p. 833-844, 2015.

CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE *Pinus* sp. NA CONDIÇÃO IN NATURA E CONVERTIDA EM DIFERENTES PRODUTOS

*Macksuel Fernandes da Silva¹, Bruno Santana Chaves², Juliana Baldan Costa Neves Araújo², Helena Cristina Carvalho Soares², Myla Medeiros Fortes², Tahare Ferreira e Silva², Leandro Teles e Lemes¹, Ailton Teixeira do Vale²

¹Universidade Federal de Goiás, Departamento de Engenharia Florestal, Goiânia, Brasil.

²Universidade de Brasília, Departamento de Ciências Florestais, Brasília, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): macksuelfernandes@hotmail.com

Resumo: A madeira de *Pinus* sp. é usada como matéria-prima para a produção de diversos produtos energéticos. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a madeira de *Pinus* sp. sob influência do tratamento térmico a partir da condição *in natura* e convertida em diferentes produtos (carvão vegetal, briquete e madeira torreficada) avaliando diferenças nas variáveis: densidade aparente, densidade energética, poder calorífico superior e inferior. O carvão e a madeira torreficada de *Pinus* sp. não apresentaram diferenças significativas na densidade energética em relação à biomassa. Por outro lado, o briquete foi o conversor que apresentou a maior diferença em relação à biomassa, representando um aumento 199% na densidade energética. O processo de carbonização e torrefação promoveu um aumento no poder calorífico superior, principalmente no carvão que apresentou um aumento de 51,52% quando comparado com a biomassa/briquete. Observou-se também que o processo de carbonização resultou em uma redução na densidade aparente do carvão, quando comparado com os outros combustíveis, já o briquete foi o combustível que apresentou maior diferença em relação à biomassa, representando um aumento de 198% na densidade aparente. Sendo assim, verificou-se que a madeira torreficada de *Pinus* sp. não apresentou diferenças significativas em relação à biomassa, já o carvão demonstrou o aumento no poder calorífico superior. O briquete se mostrou o combustível mais promissor para fins energéticos dentre os avaliados, devido ao alto valor de densidade energética.

Palavras-chave: biomassa, carvão, briquete, densidade.

CHARACTERISTICS OF PINUS SP. WOOD IN NATURAL CONDITION AND PROCESSED INTO DIFFERENT PRODUCTS

Abstract: The wood of *Pinus* sp. is used as a raw material for the production of various energy products. Thus, the objective of this study was to evaluate *Pinus* sp. wood under the influence of thermal treatment, from its natural condition to its conversion into different products (charcoal, briquette, and torrefied wood), assessing differences in the variables of bulk density, energy density, higher heating value (HHV), and lower heating value (LHV). *Pinus* sp. charcoal and torrefied wood showed no significant differences in energy density compared to biomass. On the other hand, the briquette was the converter that exhibited the greatest difference relative to biomass, representing a 199% increase in energy density. The carbonization and torrefaction processes led to an increase in the higher heating value, especially in charcoal, which showed a 51.52% increase compared to biomass/briquette. It was also observed that the carbonization process resulted in a reduction in the bulk density of charcoal compared to the other fuels, whereas the briquette exhibited the greatest difference relative to biomass, representing a 198% increase in bulk density. Thus, it was found that *Pinus* sp. torrefied wood did not show significant differences compared to biomass, while charcoal demonstrated an increase in the higher heating value. The briquette proved to be the most promising fuel for energy purposes among those evaluated, due to its high energy density.

Keywords: biomass, coal, briquette, density.

1. INTRODUÇÃO

A torrefação e a carbonização são processos termoquímicos que podem ser realizados em atmosfera inerte, ou seja, retirada de oxigênio do sistema pela injeção de nitrogênio, ou oxidativa, na qual existe a presença do oxigênio em nível menor ou igual a sua presença na atmosfera (CHEN et al. 2015). Na torrefação o tratamento térmico vai de 200 a 300°C, e a carbonização se inicia a partir de 400°C (CHEN et al., 2014). Para cada combinação de temperatura e tempo de processamento, obtêm-se produtos de diferentes propriedades que podem ser reproduzidos com alta precisão. Em comparação à carbonização, a torrefação tem a vantagem de manter 80% da energia inicial na madeira contra 50% mantido no carvão vegetal (FELFLI et al., 2000).

A densificação transforma a biomassa moída em blocos compactos com diversas dimensões e prontos para a queima. Esse processo de compactação da biomassa, através da pelletização ou briquetagem, apresenta como vantagens a redução no volume físico do material devido a compactação, alto valor e capacidade calorífica por volume. Além da redução de custo com transporte, manuseio, estocagem, aumento da densidade aparente e homogeneização do material combustível (FERNÁNDEZ et al., 2013; GARCÍA et al., 2015).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a madeira de *Pinus* sp. sob influência do tratamento térmico a partir da condição in natura e convertida em diferentes produtos (carvão vegetal, briquete e madeira torreficada) avaliando diferenças as seguintes variáveis: densidade aparente, densidade energética, análise imediata, poder calorífico superior e inferior.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de madeira de *Pinus* sp. para a produção e avaliação de diversos produtos resultantes de diferentes métodos de conversão energética, incluindo carvão vegetal, briquetes, madeira torrefada e madeira in natura. Para a produção e caracterização do carvão vegetal, as amostras foram previamente secas em estufa a 103°C e, em seguida, submetidas ao processo de carbonização em um sistema com controle rigoroso de temperatura e tempo, alcançando a temperatura final de 450°C com taxa de aquecimento de 1,67°C/min, mantida estável por 30 minutos (Silva et al., 2018).

A produção dos briquetes foi realizada por meio de compactação em briquetadeira laboratorial Lippel, sob temperatura de 150°C, pressão de 100 kgf/cm² durante 5 minutos, seguida por um período de resfriamento por ventilação forçada de 10 minutos. O ensaio de torrefação ocorreu em um reator capaz de gerar diferentes perfis de aquecimento, permitindo medições em tempo real da perda de massa, controle do teor de oxigênio por meio da injeção de nitrogênio e análise das temperaturas interna e superficial da amostra a cada 30 segundos. Foram utilizados os seguintes parâmetros: taxa de aquecimento de 5°C/min, temperatura final de 250°C e permanência nessa temperatura por 60 minutos, com atmosfera contendo 10% de oxigênio.

Caracterização dos combustíveis

Para a obtenção da densidade aparente dos produtos submetidos a diferentes tratamentos térmicos, os corpos-de-prova tiveram suas dimensões aferidas com paquímetro com sensibilidade de

0,01 cm, e a massa dos corpos-de-prova foram obtidas em balança semi-analítica com sensibilidade de 0,01g (ABNT 9165, 1985) e posteriormente foram calculadas utilizando a Equação 1:

$$D_{ap} = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Onde:

D_{ap} = densidade aparente específica, g/cm³;

M = massa do corpo-de-prova a 0% de umidade, g;

V = volume do corpo-de-prova a 0% de umidade, cm³.

O poder calorífico superior (PCS) foi realizado com auxílio de calorímetro, conforme metodologia descrita pela NBR 8633, ABNT (1984). O poder calorífico inferior (PCI), foi determinado pela Equação 2:

$$PCI = PCS - 2.5104 * \frac{(9 * T_h)}{100} \quad (2)$$

onde:

PCI = poder calorífico inferior (MJ kg⁻¹);

PCS = poder calorífico superior (MJ kg⁻¹);

T_h = teor de hidrogênio (%);

A densidade energética dos produtos foi calculada multiplicando-se o poder calorífico útil pela densidade aparente de cada material (Equação 3).

$$DE = PCU * D_{ap} \quad (3)$$

onde:

DE = Densidade Energética (GJ.m⁻³);

PCU = Poder calorífico Útil (kcal.kg⁻¹);

D_{ap} = Densidade aparente (g.cm⁻³).

Para a determinação da análise imediata (teor de cinzas e teor de materiais voláteis) utilizou-se a metodologia ABNT NBR 8112 (ABNT, 1983). O teor de carbono fixo é uma medida indireta, dependente dos teores de materiais voláteis e teor de cinzas para sua determinação, obtido através da Equação 4.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (4)$$

Onde:

CF = Teor de carbono fixo (%);

CZ = Teor de cinzas (%);

MV = Teor de materiais voláteis (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em consideração o teor de cinzas, o valor médio obtido para a biomassa de *Pinus* sp. foi de 0,22%, 0,36% para o material torreficado e 1,60% para o carvão vegetal (Tabela 1). Silva et al. (2015) caracterizaram diferentes biomassas para briquetagem e encontraram o valor de 0,23% de teor de cinzas para a biomassa de *Pinus* sp., corroborando com o obtido neste estudo.

Tabela 1. Valores médios de poder calorífico superior e inferior, cinzas, voláteis e carbono fixo.

Combustível	Cinzas (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico superior (kcal.kg ⁻¹)	Poder calorífico inferior (kcal.kg ⁻¹)
Biomassa/Briquete	0,22	84,92	14,86	4831	4507
Carvão	1,60	25,93	72,47	7320	6996
Torrefação	0,36	79,29	20,36	4992	4668

O teor de materiais voláteis médio encontrado nos combustíveis de *Pinus* sp. foi de 84,92% para a biomassa, 79,29% no material torreficado e 25,93% para o carvão. Esses valores para a biomassa estão em consonância com De Souza et al. (2012), Amorim et al. (2015), Oliveira et al. (2017), que apresentaram valores médios de 82 a 86%. O alto teor de materiais voláteis apresentado pela madeira de *Pinus* sp. é importante por ser um facilitador da queima desse material, pois esse parâmetro é o responsável pela ignição do fogo e pela velocidade da combustão (Souza et al., 2016).

O valor médio de carbono fixo obtido para a biomassa foi de 14,86%, com o incremento de 27% no material torreficado e 79% no carvão. Amorim et al. (2015) estudaram a biomassa de espécies de *Pinus* sp. e encontraram valores médios de 11,5% para o teor de carbono fixo. Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo.

Observa-se que o processo de carbonização e torrefação promoveu um aumento no poder calorífico superior, principalmente no carvão que apresentou um aumento de 51,52% quando comparado com a biomassa/briquete. Segundo Jesus et al. (2017) esse comportamento está associado à redução do teor de voláteis, pois compreendem a parte do combustível que se evapora quando é aquecido a altas temperaturas e após a evaporação misturam-se com o oxigênio do ar e entram em combustão, tornando-os mais instáveis termicamente.

Observa-se que o processo de carbonização resultou em uma redução na densidade aparente (0,28 g.cm⁻³), quando comparado com os outros combustíveis (Figura 1). Esse comportamento que segundo Jesus et al. (2015), está associado à perda de massa provocada pela volatilização de alguns dos seus componentes. A madeira torreficada (0,43 g.cm⁻³) não apresentou diferença em relação à biomassa (0,43 g.cm⁻³). Por outro lado, o briquete (1,28 g.cm⁻³) foi o combustível que apresentou maior diferença em relação à biomassa, representando um aumento de 198%. De acordo com Quirino (2003), a densidade energética do briquete pode ser três vezes maior que a da lenha, e em relação a resíduos de serrarias até cinco vezes maior, isto é, em 1m³ de briquete espera-se cinco vezes mais energia que em 1m³ de resíduo.

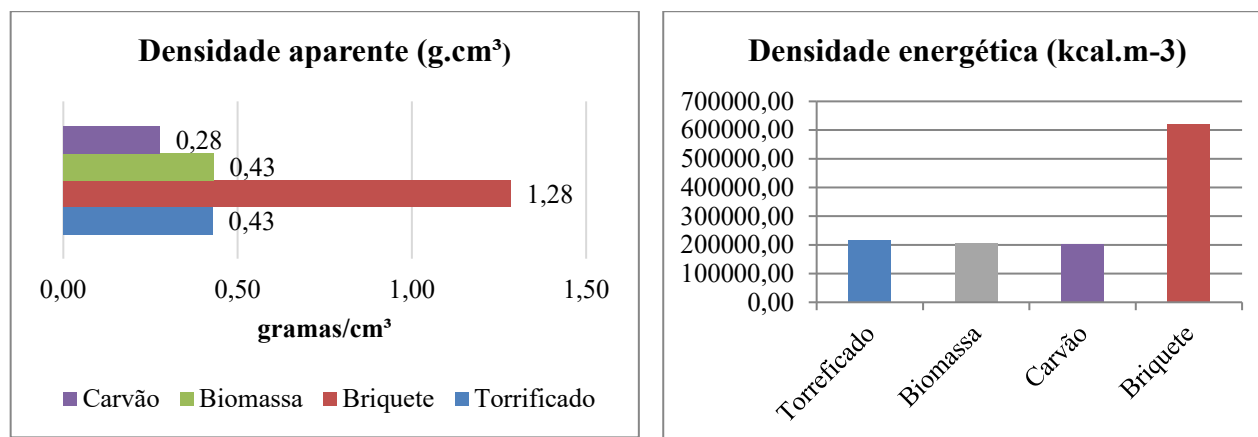


Figura 6 - Valores médios da densidade aparente e energética dos diferentes combustíveis.

A biomassa de *Pinus* sp. apresentou uma densidade energética de 207233,59 kcal.m³, o carvão 202767,34 kcal.m³ e a madeira torreficada 215361,48 kcal.m³, médias semelhantes com pouca diferença em relação à biomassa. Por outro lado, o brique (620329,32 kcal.m³) foi o conversor que apresentou a maior diferença em relação à biomassa, representando um aumento 199%.

4. CONCLUSÃO

A madeira de *Pinus* sp. apresentou características potenciais para a produção de carvão vegetal, briquetes e madeira torreficada. A madeira torreficada não apresentou diferenças significativas em relação à biomassa, já o carvão demonstrou o aumento em variáveis importantes como teor de carbono fixo e poder calorífico superior, fator que justifica o processo de carbonização. O brique se mostrou o combustível mais promissor para fins energéticos dentre os avaliados, devido ao alto valor de densidade energética, parâmetro este essencial quando se avalia a qualidade do produto energético.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. R. et al. Caracterização energética de madeira de *E. grandis*, *Pinus* sp., *T. vulgaris* e *P. lecointei*. **ResearchGate**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9165 Carvão vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8633: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, ABNT, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.

CHEN W-H, PENG J, BI XT. A state-of-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 44: 847-866, 2015.

CHEN W-H, KUO P-C, LIU S-H, WU W. Thermal Characterization of palm oil fiber and eucalyptus in torrefaction. **Energy**, 71: 40-48. 2014.

FELFLI, F.F.; LUENGO, C.A.; SOLER, P.B. **Torrefação da biomassa: características, aplicações e perspectivas**. In: ENCONTRO SOBRE ENERGIA MEIO RURAL, 3. Anais. 2000.

FERNANDEZ, R.G. Influence of physical properties of solid biomass fuels on the design and cost of, storage installations. **Waste Management**, v. 33, pp. 1151-1157, 2013.

GARCÍA, M.; A.; RODRIGUEZ, M. L.; SERRANO, B. F.; DIAZ, L.F.; ZAMORANO, M. Factors affecting the quality of pellets made from residual biomass of olive trees. **Fuel**, v. 129, p.1–7, 2015.

JESUS, M.S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F.P.; SANTOS, L.C.; ROCHA, M.F.V. Caracterização energética de diferentes espécies de *eucalyptus*. **Floresta**. Curitiba, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

OLIVEIRA, A. et al. Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus submetidos ao tratamento térmico com foco na aplicação energética. **Academia.edu**, 2017. Disponível em: <https://www.academia.edu/45489484>. Acesso em: 1 abr. 2025.

QUIRINO, W. F. **Densificação de resíduos lignocelulósicos para produção de energia**. Brasília: Universidade de Brasília, 2003.

SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G. T.; BARROS, J. L.; DA ROZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713–722, out./dez. 2015.

SILVA, M. F.; FORTES, M. M.; SETTE JUNIOR, C. R. Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, 2018.

SOUZA, F.; VALE, A.T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413, 2016.

MÉTODO PRÁTICO E DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAR A ENERGIA DE CORTE EM MADEIRAS

Lucas Geovane de Medeiros Santana¹; José Tarcísio Lima¹; Silvia Costa Ferreira¹; Anna Carolina Almeida Andrade², José Reinaldo Moreira da Silva¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, Brasil.

*jreinaldoms@gmail.com – jreinaldo@ufla.br

Resumo: Para obter medições de energia de corte eficiente e baixo custo comparou o sistema modular de medição, como analisador Fluke. Madeira do clone de *Eucalyptus urophylla* após abatido, foi determinada a densidade básica da primeira tora (0 a 3 metros), desdobrou em tábuas, secou a 12%. O processamento longitudinal (90°-0°) foi feito em serra circular de 48 dentes. As velocidades de avanço e de corte foram de 12 e 46 m.s⁻¹, respectivamente. As energias específicas de corte foram coletadas pelo sistema modular, com interface amigável gráfica e pelo analisador de energia Fluke. Realizou a análise de variância e correlação com a densidade. Utilizou o teste de Tukey, a 95%. Observou-se correlação positiva e fraca entre densidade básica e consumo de energia específica, pelos dois métodos. Não observou diferença estatística entre as médias da energia de corte pelo sistema modular e analisador de energia Fluke. Pode-se concluir a viabilidade técnica do uso do sistema modular com interface gráfica específica e do software com interface amigável.

Palavras-chave: Processamento mecânico da madeira, Automação, Otimização.

PRACTICAL AND LOW-COST METHOD FOR DETERMINING CUTTING ENERGY IN WOOD

Abstract: To obtain efficient and low-cost cutting energy measurements, modular system was compared with Fluke analyzer. Wood of *Eucalyptus urophylla* clone was harvested, basic density (first log – 0 to 3 meters) was determined, boards were sawlog and dried up to 12%. Longitudinal processing (90°-0°) was done on a 48-teeth circular saw. The feed and cutting speeds were 12 and 46 m.s⁻¹, respectively. Specific energy was collected by the modular system with a friendly graphical interface and Fluke analyzer. Analysis of variance and correlation with density was performed. 95% Tukey test was used. A positive and low correlation between basic density and specific energy consumption was observed by the methods. There was not statistical difference between the cutting energy averages using the modular system and Fluke energy analyzer. The technical feasibility of using the modular system with a specific graphical interface and the software with a friendly interface can be concluded.

Keywords: Mechanical wood processing, Automation, Optimization.

1. INTRODUÇÃO

O corte pode ser definido como ação do gume cortante da ferramenta sobre a madeira, com a formação de cavacos variáveis. A densidade da madeira e as características anatômicas variam de espécie para outra e têm sido frequentemente usadas para estudar o consumo de energia e a qualidade da superfície processadas mecanicamente (Chuchala et al., 2014, Kminiak e Gaff, 2015).

Vários fatores estão envolvidos no processamento da madeira que afetam o desgaste da ferramenta, as forças de corte, o consumo de energia e a qualidade da superfície. Segundo Nasir Cool (2018), eles podem ser classificados em três categorias principais, sendo a matéria-prima, os parâmetros de usinagem e o maquinário. Já Bonduelle et al. (2002) afirmou que o processamento da madeira é a função 5M (Matéria-prima, Metodologia, Máquinas, Mão de obra e Meio ambiente).

Segundo Silva (2002), a otimização dos processos de usinagem da madeira resulta na diminuição do custo energético das máquinas, melhor aproveitamento da madeira, aumento da vida útil das ferramentas e da produtividade, levando a redução dos custos de usinagem e do produto final. Souza et al. (2011) afirmou que a velocidade de avanço de $17 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ promoveu o menor consumo de energia específica de corte no corte transversal de toras de clones de *Eucalyptus* sp., corroborado por Gontijo (2012), que considerou também a velocidade de corte e número de dentes da serra circular no consumo de energia específica de corte.

De acordo com Kollmann e Côté (1968), a energia específica de corte é a relação entre o consumo de energia líquida e o volume de material removido durante o processamento. Souza et al. (2011) e Melo et al. (2016) afirmaram sobre a necessidade de estudos da energia específica de corte no processamento da madeira, pois mesmo sendo a madeira uma das matérias primas mais utilizadas no mundo, os estudos desse tema encontram-se concentrados na usinagem de metais.

O software na plataforma LabView é de desenvolvimento fácil para o manuseio de aplicativos na aquisição de dados e controle de instrumentos (NATIONAL INSTRUMENTS, 2024a). A linguagem G, chamada de linguagem de programação gráfica do LabVIEW, é de alto nível e permite desenvolvimento fácil de aplicações sofisticadas de teste, medição e controle. Ela é feita entre blocos gráficos por meio de fios em diagrama, que é compilado em código de máquina e executado pelos processadores. O código em G é executado conforme as regras de fluxo de dados, diferentemente da abordagem procedural. Linguagens de programação na plataforma LabView promovem os dados como principal conceito. Assim, a execução do programa é realizada na ordem do fluxo dos dados, de cada bloco e não por linhas sequenciais como na maioria dos programas (NATIONAL INSTRUMENTS, 2024a).

Objetivou-se medir e avaliar os dados de energia de corte da madeira pelo Sistema Modular de Medição, de fácil manuseio e de baixo custo, comparativamente ao analisador de energia Fluke.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se madeira do clone AEC 220 (*Eucalyptus urophylla*), com 9 anos. Seis toras colhidas foram desdobradas em serra fita. Corpos de prova foram retirados para determinação da densidade básica (NBR 11941, ABNT, 2003). As tábuas foram secas ao ar livre, até 12% de umidade. Posteriormente, no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA), foram preparados 50 corpos de prova, de $1000 \times 120 \times 25 \text{ mm}$, para realização do processamento (ASTM D-1666/17, 2017).

Os cortes longitudinais (90° - 0°) foram executados em serra circular de carrinho (7,5 CV), disco de serra de 48 dentes, alterno (WZ), rotação do eixo porta ferramenta de 2200 rpm e sistema de

exaustão de cavacos. A velocidade de corte foi de 46 m.s^{-1} (Gontijo, 2012 e Souza et al., 2011) e a de avanço foi de 8 m.m^{-1} , definida por pré-testes, para melhoria a faixa de medição dos instrumentos. As velocidades de corte e de avanço foram controladas por inversores de frequência, modelo CFW 500 - WEG®, equipado com interface de comunicação com o computador, pelo conversor multi-serial *Novus*®, modelo USB-i485, que permitiu, com o auxílio do software *Super Driver*, o monitoramento e a parametrização dos dados durante o processamento mecânico (Figura 1).

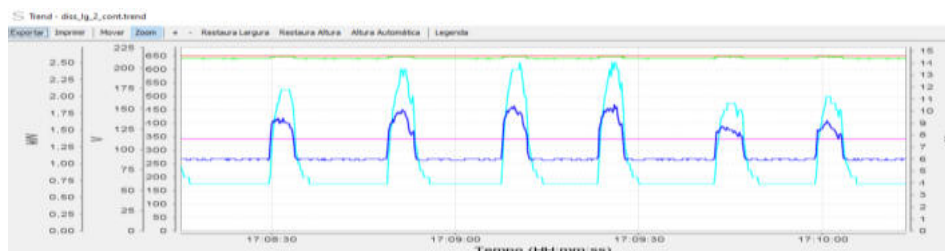


Figura 1. Monitoramento dos parâmetros de processamento mecânico.

A aquisição da energia específica de corte ocorreu pelo sistema modular de medição (SMM), marca National Instruments, modelo CDAQ 9174 (Figura 2), com dois módulos, NI 9215 e NI 9242.



Figura 2. Sistema modular de aquisição de dados composto por dois módulos.

O módulo NI 9215 possui quatro canais de entrada analógicos para sensores, com nível de tensão de 10 V e capacidade de amostragem de 100 kSamples/s. Ele foi utilizado na captação dos dados de corrente, com auxílio de três pontas de prova, tipo alicate. Elas foram ajustadas de acordo com a magnitude da corrente, permitindo medições de 0 a 200 A (National Instruments, 2024b). O módulo NI 9242 possui três canais analógicos de entrada, com capacidade de medição de até 250 V_{rms} (fase-neutro), com taxa de amostragem de 50 Ksamples/s. Ele também possui capacidade de medição da tensão da rede elétrica, sem a necessidade de pontas de prova (National Instruments, 2024c).

O sistema modular de medição possui capacidade de realizar cálculo das grandezas de potências instantânea e ativa e da energia elétrica. Juntamente com a rotina elaborada na plataforma LabVIEW (Mariano, 2018) resultaram em valores da energia específica de corte, seguindo etapas de i) aquisição dos sinais de tensão e de corrente; ii) ajuste de ganhos da corrente de acordo com a ponta de prova; iii) cálculo da potência instantânea; iv) cálculo da potência ativa; v) cálculo da energia elétrica; vi) cálculo da energia específica de corte; vii) exportação dos resultados para arquivo tipo planilha. O software também possui rotinas para a aquisição de valores somente quando a máquina estiver em processamento. Assim, os dados do motor em vazio foram todos descartados, sendo considerados apenas valores superiores a 10% da potência em vazio. Estes valores foram qualificados

como de processamento (Figura 3). Este fato fornece maior precisão dos dados coletados, aliado à alta capacidade de amostragem, pois são fornecidos diretamente os valores de energia específica de corte.



Fonte: Mariano (2018).

Figura 3. Determinação do início e do final do processamento da madeira

A interface gráfica amigável foi desenvolvida para facilitar o uso do software. Ela possui telas principais de visualização, que permitem o acompanhamento dos dados em tempo real (Mariano, 2018). Na tela inicial (Figura 4) observam-se os campos de preenchimento dos parâmetros da máquina e do processamento. Na segunda tela (Figura 5) têm-se os gráficos, em forma de onda, de corrente e tensão de cada uma das fases, além do Vrms.

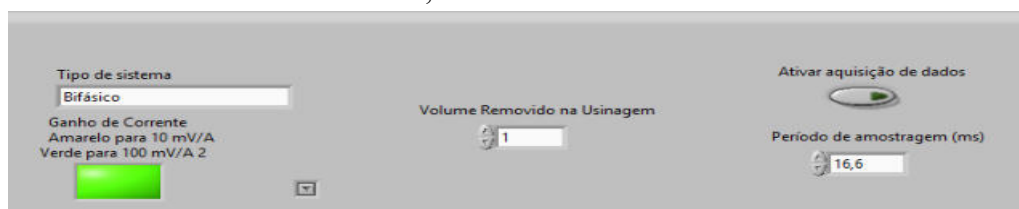


Figura 4. Campos dos parâmetros da máquina e do processamento.

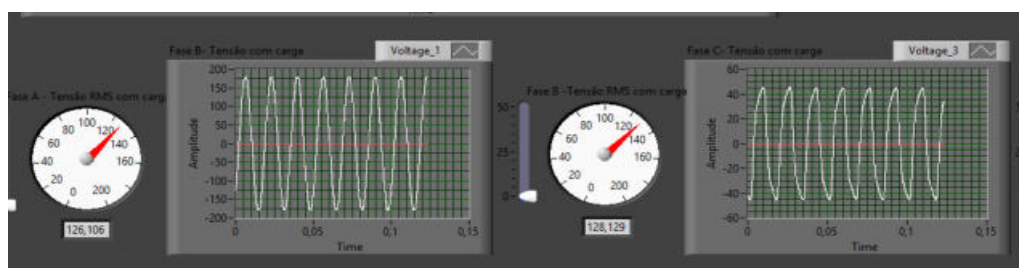


Figura 5. Acompanhamento da corrente e tensão do motor em tempo real.

Como testemunha, utilizou o analisador de energia Fluke, modelo 435, com duas pontas de prova ajustadas para os níveis de potência elétrica (Figura 6), que medem a tensão (V) e a corrente elétrica (A). Foram coletadas as potências mínima, média e máxima (kW). O Fluke possui leitura de forma contínua, que geram valores de potência média durante toda aquisição. Posteriormente, os dados foram tratados no *Powerlog Classic* e no *Office Excel*, para ajustes e confecção dos gráficos-respostas. A formação de pico de potência ativa permitiu determinar os momentos de corte efetivo da madeira e assim realizou-se a triagem da potência média e considerou apenas valores no intervalo de 3 segundos, evitando o início e o fim dos cortes, bem como aqueles que o motor operou em vazio.



Figura 6. Analisador de energia Fluke com as pontas de prova.

Após confirmação de normalidade dos dados da energia específica de corte, foram feitas a análise de variância e a correlação de *Pearson*, com a densidade básica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A energia específica de corte mostrou-se fracamente correlacionada, de forma positiva, com a densidade básica da madeira do clone de *Eucalyptus urophylla* (Tabela 1), igualmente para os dois métodos de medição da energia específica de corte. Este resultado pode ter ligação com a estrutura clonal do povoamento utilizado, com pequena variação da densidade da madeira.

Tabela 1. Correlação de Pearson, a 95% de probabilidade, para os valores de energia específica de corte longitudinal da madeira de *Eucalyptus urophylla*, em função da densidade básica

Método de medição	Analisador Fluke	Sistema Modular de Medição
Índice da correlação com densidade	0,261745	0,268224

Os parâmetros estatísticos da energia específica de corte obtidos pelos sistemas de medição podem ser observados na Tabela 2. A análise de variância do consumo da energia específica de corte mostrou-se não significativa, a 95% de probabilidade, indicando igualdade entre os métodos. Pela praticidade e facilidade do sistema modular de medição, associado ao baixo custo de aquisição observa-se alta viabilidade técnica e econômica, comparativamente ao analisador de energia Fluke, que possui utilização consolidada nas indústrias, em levantamentos do consumo de energia em tentativas e otimizar os processos produtivos.

Tabela 2. Valores da energia específica de corte no sentido longitudinal (90°-0°)

Parâmetro estatístico	Sistema Modular de Medição	Analisador Fluke
Máximo (kJ.cm ⁻³)	0,262	0,212
Médio (kJ.cm ⁻³)	0,225^{n.s.}	0,186^{n.s.}
Mínimo (kJ.cm ⁻³)	0,187	0,172
CV (%)	8,45	8,43

n.s. = não significativo pela análise de variância, a 95% de probabilidade.

4. CONCLUSÃO E SUGESTÃO

O sistema modular de medição, com interfase amigável, foi eficaz na medição da energia específica de corte de madeira.

Sugere-se o uso de variação das velocidades de avanço e de corte, em madeiras de classes distintas de densidades, além de tipos de processamentos, como o aplainamento.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 11941: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro. 2003.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1666-17, Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Panel Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 17p. 2017.
- BONDUELLE, A; CRUZ, C. R; SILVA, J. R. M. Processo Mecânico da Madeira. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p.
- CHUCHALA, Daniel et al. The effect of wood provenance and density on cutting forces while sawing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). BioResources, v.9, n.3, p.5349-5361, 2014.
- GONTIJO, T. G. Influência da umidade na energia específica de corte da madeira. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, V&M-UFLA. 61p. 2012.
- KMINIAK, R.; GAFF, M. Roughness of surface created by transversal sawing of spruce, beech, and oak wood. BioResources, v.10, n.2, p.2873-2887, 2015.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE JÚNIOR, W. A. Principles of wood science and technology. New York: Springer-Verlag, 1968. v.1, 604p.
- MARIANO, A. G. A. Desenvolvimento de software para cálculo de energia específica de corte. TCC (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG. 56p. 2018.
- MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; et al. Influence of genetic material and radial position on the anatomical structure and basic density of wood from Eucalyptus spp. and Corymbia citriodora. Scientia Forestalis (IPEF), v.44, p.611-621, 2016.
- NASIR, V.; COOL, J. A review on wood machining: characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. Wood Material Science & Engineering, p. 1-16, 2018.
- NATIONAL INSTRUMENTS. Ambiente de projeto de sistemas de comunicação. Disponível em: < <https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/14/single-design-environment-for-communications-system-design.html> > Acesso em: 10 jun de 2024a.
- NATIONAL INSTRUMENTS. NI- NI-9215, Módulo da Série C de entrada de tensão. Disponível em: < <https://www.ni.com/pt-br/support/model.ni-9215.html> > Acesso em: 14 de jun 2024b
- NATIONAL INSTRUMENTS. NI-9242, Módulo da Série C de entrada de tensão. Disponível em: < <https://www.ni.com/pt-br/support/model.ni-9242.html> > Acesso em: 14 jun de 2024c.
- SILVA, J. R. M. Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden. 2002. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002, 179p.
- SOUZA, E. M.; SILVA, J. R. M.; et al. Specific cutting energy consumption in a circular saw for Eucalyptus stands VM01 e MN463. CERNE (UFLA), v.17, p.109-115, 2011.

CARACTERIZAÇÃO AVANÇADA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE MICROESPECTROSCOPIA μ FTIR DE PONTO ÚNICO

Kátia Dionísio de Oliveira^{1*}; Lucas L. Battiston¹; Graciela I. B. Muniz²; Cícero N. Ávila-Neto¹

¹Laboratório de Processos Catalíticos Sustentáveis (proCatalis), Universidade Federal do Paraná, Brasil

²Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Brasil

*Autor correspondente (e-mail): katia.oliveira@ufpr.br

Resumo: As indústrias de base florestal são responsáveis por processarem uma quantidade significativa de biomassa através das suas cadeias produtivas. Associado a este cenário econômico de destaque, cujas *commodities* são exportados para o mundo inteiro, esse setor desenvolve práticas que estimulam a mitigação de impactos ambientais. Essas práticas se consolidam cada vez mais através da recirculação/reaproveitamento dos resíduos e co-produtos gerados em seus respectivos processos industriais. Neste sentido, o conceito de biorrefinaria tem permitido às essas indústrias ampliar as potencialidades das aplicações de seus materiais, adequando novos produtos. O bio-óleo de pirólise rápida é um coproduto gerado a partir da conversão termoquímica de resíduos da exploração e extração da madeira. Nas últimas décadas teve suas potencialidades de aplicação ampliadas, tais como resinas, aromatizantes, fertilizantes, adesivos, intermediários químicos, além de combustíveis renováveis. Entretanto, a complexidade e heterogeneidade especificamente da composição química desses materiais associadas às suas importantes propriedades intrínsecas são de extrema relevância quando deseja-se explorar essas aplicações. Neste trabalho o bio-óleo de pirólise rápida foi caracterizado pela técnica de Microespectroscopia μ FTIR de Ponto Único (ATR-FTIR) associada à Análise de Microfoco, com o objetivo de explorar detalhes das imagens de microscopia espectral na faixa do IR. Os resultados das análises de Microscopia Espectral por análise pontual desses materiais demonstraram informações importantes quanto à heterogeneidade da composição das frações solúveis e insolúveis obtidas após os processos de extração de importantes compostos químicos, principalmente quanto à polimerização e agregação dos componentes de bio-óleo de pirólise rápida.

Palavras chave: Bio-óleo; Caracterização; Microespectroscopia μ FTIR de Ponto Único; ATR-FTIR.

IN-DEPTH CHARACTERIZATION OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS USING THE SINGLE-POINT μ FTIR MICROSPECTROSCOPY TECHNIQUE

Abstract: Forest mills play a vital role in processing a substantial amount of biomass throughout their production chains. This sector is deeply connected to the global export of commodities and is increasingly adopting practices aimed at mitigating environmental impacts. These efforts are evident in the recirculation and reuse of waste and co-products generated during industrial processes. One significant development in this area is the concept of biorefinery, which allows industries to broaden the potential applications of their materials and create new products. Fast pyrolysis bio-oil, a co-product derived from the thermochemical conversion of waste from wood harvesting and processing, has seen its potential applications expand over recent decades. These applications now include resins, flavorings, fertilizers, adhesives, chemical intermediates, and renewable fuels. The complexity and variability of the chemical composition of these materials, particularly related to their significant intrinsic properties, are crucial when exploring their applications. In this study, we characterized fast pyrolysis bio-oil using Single Point μ FTIR Microspectroscopy (ATR-FTIR) combined with

Microfocus Analysis. This approach aimed to investigate the details of the spectral microscopy images in the infrared range. The results from the spectral microscopy analyses, which involved point analysis of these materials, provided important insights into the heterogeneity of the soluble and insoluble fractions obtained after the extraction of key chemical compounds. This primarily pertains to the polymerization and aggregation of components in the fast pyrolysis bio-oil.

Keywords: Bio-oil; Characterization; Single-Point μ FTIR Microspectroscopy; Microfocus Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por produtos de origem renovável tem sido estimulada principalmente através da mudança de comportamento da sociedade quanto aos seus principais bens de consumo. Recentemente, o setor florestal tem repensado sobre a possibilidade de comercializar novos bioprodutos com diferentes potencialidades de aplicações, dentre os quais destacam-se o reaproveitamento e a geração de energia, contribuindo para a ampliação de mercado das indústrias de base florestal através do conceito de biorrefinaria (OLIVEIRA *et al*, 2023).

Especificamente no Brasil, em 2023, dentre os grupos de resíduos gerados nas indústrias de celulose e papel, os licores negros, assim como resíduos de casca, galho e folha, dentre outros materiais com possibilidades de reciclagem somam 79%, enquanto que os demais 21% correspondem à cavacos fora das especificações exigidas, serragem, lama de cal e cinzas da caldeira de recuperação (BRAZILIAN TREE INDUSTRY, 2024). Por outro lado, o processo *Kraft* de produção de celulose possui um histórico bastante consolidado quanto à sua autossuficiência energética e em determinados casos, são capazes de gerar um excesso que pode eventualmente ser negociado com as concessionárias de energia (MOLA-YUDEGO *et al.*, 2017). Quando se trata de sustentabilidade no setor florestal, o conceito “building blocks” viabilizou a possibilidade de converter os resíduos do setor florestal em energia não somente para consumo próprio, mas também ampliaram os seus respectivos nichos, dado à concorrência para a produção dos combustíveis renováveis e de bioprodutos a partir da madeira, além de químicos intermediários com maior retorno econômico com diferentes aplicações (OLIVEIRA *et al*, 2023).

Especificamente, o processo de pirólise rápida, constitui um dos principais mecanismos utilizados na conversão da biomassa florestal em energia e/ou produtos intermediários que possam vir a ser utilizados como fonte de matéria-prima na produção de combustíveis renováveis e seus derivados (MENDOZA-MARTINEZ *et al.*, 2023). O bio-óleo, principal produto oriundo desse processo pode ter diferentes finalidades dependendo do objetivo final, dado à sua composição química extremamente complexa. Materiais lignocelulósicos apresentam moléculas de tamanhos diferentes, principalmente com relação à cadeia carbônica, gerando produtos com propriedades físico-químicas com espectro amplo de aplicação. A complexidade química do bio-óleo permite explorar outras potencialidades deste material para produzir outros bioprodutos como por exemplo, resinas, aromatizantes, fertilizantes, adesivos, além de reagentes utilizados na indústria química, além de combustíveis renováveis (STAFFORD *et al*, 2020).

Neste contexto, a técnica de caracterização Microespectroscopia μ FTIR de Ponto Único (ATR-FTIR) associada à microscopia pontual é uma análise bastante eficaz não somente para o mapeamento da distribuição química dos materiais, mas também para a determinação da morfologia dos materiais, permitindo ampliar discussões a respeito da compreensão da estrutura com maiores detalhes. A principal vantagem de se utilizar esta técnica é que a análise pode ser utilizada tanto para amostras líquidas quanto sólidas sem necessitar de maiores preparos para ser executada (HIKIMA *et al.*, 2019).

Neste trabalho, imagens espectroscópicas foram obtidas através da técnica ATR-FTIR, com o objetivo de identificar informações sobre a estrutura e composição química do bio-óleo obtido a partir do processo de pirólise de resíduos florestais, além das respectivas frações desses materiais após processos de separação dos seus extratos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Medidas de Microespectroscopia μ FTIR de Ponto Único foram realizadas utilizando o equipamento *Cary 620 diffraction-limited IR microscope (Agilent)*. Amostras iniciais foram fornecidas por uma fábrica de celulose que utilizam o processo *Kraft*. As demais amostras correspondentes às frações obtidas a partir do processo de separação e extração, também foram caracterizadas pela técnica *ATR-FTIR*, utilizando a infraestrutura da linha de luz IMBUIA Micro do acelerador de partículas Sirius, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), localizado no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

A análise espectral de alta sensibilidade e a imagem espectral de campo total foram realizadas com um detector infravermelho do tipo *Focal Plane Array (FPA)* 128×128 , que é crio-resfriado e feito de telureto de mercúrio-cádmio (MCT). Os espectros do bio-óleo e suas respectivas frações foram coletados na faixa de $3800\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ com resolução espectral de aproximadamente $1,9\text{ cm}^{-1}$, usando uma objetiva de 15x e 25x com modo de alta ampliação. Foi analisada uma área óptica de $520 \times 392\text{ }\mu\text{m}^2$, com tamanho efetivo de pixel de $0,51 \times 0,48\text{ }\mu\text{m}^2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento de todas as amostras apresentadas na Tabela 1 foram realizadas na linha de luz IMBUIA micro, no laboratório de luz síncrotron Sirius (LNLS) - CNPEM.

Tabela 1: Amostras que foram caracterizadas pela técnica *ATR-FTIR* na linha de luz IMBUIA Micro - SIRIUS/CNPEM.

Amostra	Código
Bio-óleo de pirólise rápida	CBO
Fração do bio-óleo insolúvel em água	WIF
Fração do bio-óleo solúvel em água	WSF

A Figura 1 (letras A, B e C) mostram as diferentes imagens das amostras CBO, WSF e WIF obtidas utilizando um microscópio óptico. Já as Figura 1 (letras D, E, F) correspondem às imagens hiperespectrais geradas a partir da integração dos espectros de absorbância na faixa do comprimento de onda entre $1030\text{ a }1060\text{ cm}^{-1}$. Essas imagens espectrais geradas teve como o objetivo principal a identificação da banda de absorbância associada ao modo estiramento da ligação C-O dos álcoois primários ($\nu\text{C-O,AP}$) observadas nas três amostras (CBO, WSF e WIF), a 1049 cm^{-1} (Figura 2).

As imagens ópticas da amostra CBO (Figura 8A) e WSF (Figura 8C) apresentam partículas de cor escura com diâmetro medindo aproximadamente $40\text{ }\mu\text{m}$. Já a imagem da Figura 8B correspondente à amostra WIF (Tabela 1), apresenta partículas translúcidas com extremidades côncavas semelhantes à meias esferas. As imagens hiperespectrais das amostras CBO e WIF revelam regiões de cores que variam de azul escuro (indicando absorção menos intensa em 1049 cm^{-1}) a verde

(indicando absorção mais intensa no mesmo comprimento de onda). Por outro lado, a imagem hiperespectral da amostra WSF exibe absorções de IR muito intensas nos cantos superior direito e inferior esquerdo da Figura 1F.

Figura 1: Resultados da análise de microscopia espectral pontual de infravermelho. As imagens A, B e C foram obtidas através do microscópio óptico associado ao equipamento do ATR-FTIR. Imagens D, E e F se referem aos hiperespectros obtidos através da integração do espectro de absorvância entre 1030 to 1060 cm^{-1} .

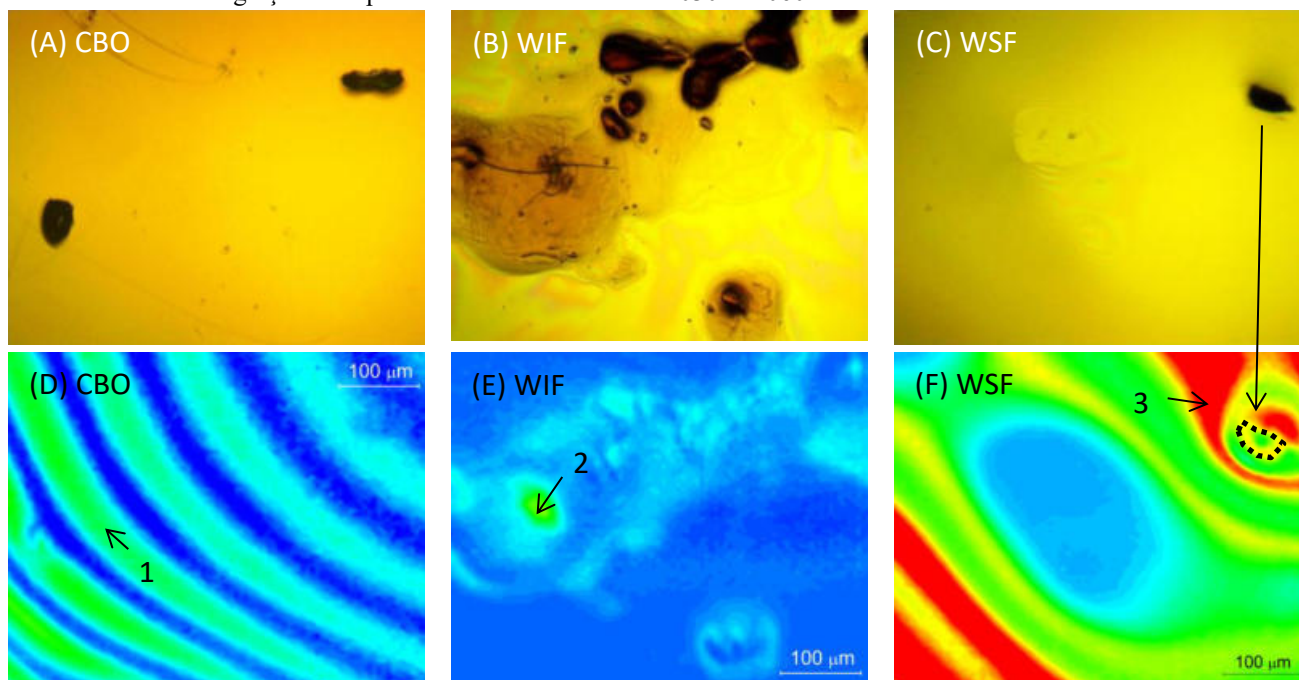
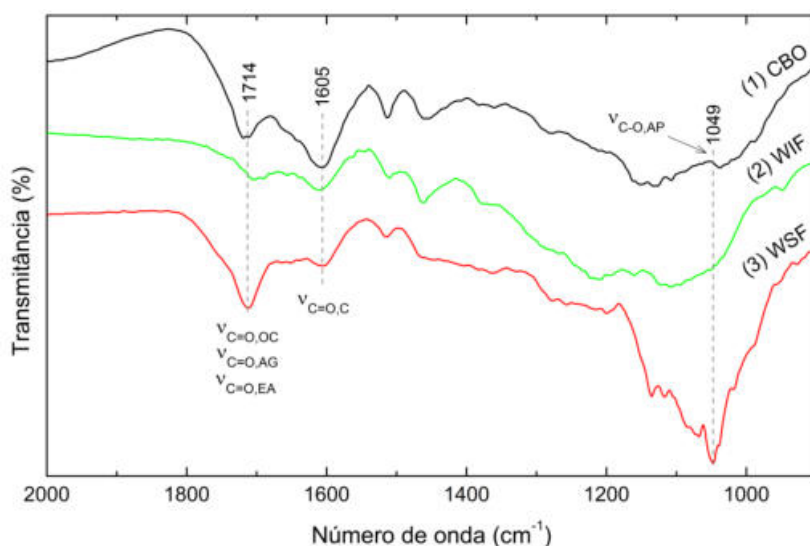


Figura 2: Espectro de infravermelho das amostras CBO, WIF e WSF.



Observa-se que o gradiente de cor se correlaciona com a presença de partículas observadas nas imagens ópticas, um exemplo, é a presença da partícula no canto superior direito da imagem óptica da amostra WSF (Figura 1C) as quais aparecem como uma área de absorção menos intensa na imagem hiperespectral (Figura 1F: verde/amarelo), em comparação com a área vermelha adjacente. Esse resultado demonstra a precisão da análise da técnica *ATR-FTIR*, ou seja, mesmo não sendo

possível obter uma diferenciação por imagem microscópica entre as regiões analisadas, através a imagem hiperespectral obtida revelou diferenças de absorção no comprimento de onda infravermelho. As partículas escuras representadas nas Figuras 1A e 1C são provavelmente compostas de a base de carbono, como o biocarvão por exemplo, que possuem estabilidade térmica e não se decompõem em temperaturas mais elevadas. Em contraste, as partículas translúcidas na Figura 1B consistem na fração insolúvel do próprio bio-óleo e se decompõem dentro da faixa de temperatura entre 673 a 835 K.

As análises espectroscópicas de *ATR-FTIR* demonstraram que os componentes da fração WIS estão distribuídos ao longo do bio-óleo. Os processos de homogeneização e extração da água apresentaram componentes agregados e insolúveis dada às forças de *Van der Waals*, no que diz respeito a não afinidade desses compostos com a água, ou seja, dado à apolaridade desses compostos, partículas de cor marrom com extremidades semelhantes à microesferas podem ser visualizadas (Figuras 1B e 1C). Por sua vez a formação desses agregados somente foi possível através de compostos insolúveis presentes na amostra CBO, demonstrando um determinado grau e polimerização do bio-óleo até mesmo à temperatura ambiente e utilizando apenas um homogeneizador.

ZHANG e colaboradores (2023), reportaram essa mesma situação e se referiram como polimerização “eco-friendly” ou polimerização verde. THICKETT e GILBERT (2007) discutiram detalhadamente o mecanismo de polimerização de materiais lignocelulósicos em emulsão e suas complexidades. De acordo com ANTONOPOULOU e colaboradores (2024), em emulsões envolvendo água e óleo, o mecanismo de polimerização pode ser iniciado por ácidos. Neste estudo os pesquisadores empregaram ácidos fracos e fortes e analisaram de forma precisa o processo de polimerização com um controle preciso através da massa molar e dispersão. Neste sentido, alguns compostos da amostra BOS identificados por cromatografia gasosa, como por exemplo, o ácido 3, 4-(methylthio)butanoic, um ácido carboxílico pode ser um iniciador do processo de polimerização de várias moléculas orgânicas presentes também no bio-óleo.

4. CONCLUSÃO

Através da aplicação da técnica de Microespectroscopia μ FTIR de Ponto Único (ATR-FTIR) foi possível observar e consolidar algumas características físico-químicas de um bio-óleo de pirólise rápida assim como das suas respectivas frações obtidas após as etapas de extração e separação. Esse estudo demonstrou a importância e influência das condições operacionais utilizadas no refino do bio-óleo no mecanismo de polimerização dos seus componentes, principalmente na fração insolúvel em água. As frações do bio-óleo, tanto solúvel assim como insolúvel em água, geraram imagens ópticas com particularidades, permitindo concluir que o mecanismo de polimerização do bio-óleo pode eventualmente ocorrer até mesmo à temperatura ambiente, dado às especificidades dos seus compostos químicos, como por exemplo, a presença de ácidos carboxílicos.

Agradecimentos

O grupo de pesquisa proCatalis agradece à empresa SUZANO S/A pelo fornecimento das amostras de bio-óleo. O desenvolvimento deste trabalho contou com o financiamento do CNPq (350306/2023-0; 405723/2022-9 e 403645/2021-2), além do financiamento da proposta executada na Linha IMBUIA Micro - SIRIUS/CNPq (20232919).

REFERÊNCIAS

- ANTONOPOULOU MN, JONES GR, KROEGER AA, PEI Z, COOTE ML, TRUONG NP, et al., 2024. Acid-triggered radical polymerization of vinyl monomers. *Nat Synth.* 3(3):347–356.
<https://doi.org/10.1038/s44160-023-00462-9>
- BRAZILIAN TREE INDUSTRY, 2024. **Annual Report, 2023:**
<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>
- HIKIMA, Y; MORIKAWA, J.; KAZARIAN, S. G., 2019. Analysis of molecular orientation in polymeric spherulite using polarized micro attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopic imaging. *Analytica Chimica Acta*, 1065, 79-89.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.02.017>
- MENDOZA-MARTINEZ C, SERMYAGINA E, SAARI J. Fast oxidative pyrolysis of eucalyptus wood residues to replace fossil oil in pulp industry. *Energy.* 2023; 263: 126076.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126076>
- MOLA-YUDEGO B, AREVALO, J, DÍAZ-YANEZ O, DIMITRIOU I, HAAPALA A, FERRAZ-FILHO A C, SELKIMAKI M, VALBUENA R. Wood biomass potentials for energy in northern europe: Forest or plantations? *Biom. Bioenerg.* 2017; 106: 95-103.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.08.021>
- OLIVEIRA K D, CADEMARTORI P H G, MUNIZ G I B, LUZ-JUNIOR L F L, AVILA-NETO C N. Biorefineries in Kraft pulp mills for biofuels production: A critical review. *Can. J. Chem. Eng.* 2022; 101(5):2403-2422. <https://doi.org/10.1002/cjce.24633>
- STAFFORD W, DE LANGE W, NAHMAN A, CHUNILALL V, LEKHA P, ANDREW J, JOHAKIMU J, SITHOLE B, TROTTER D. Forestry biorefineries. *Renew. Energy.* 2020; 154 (1):461-475. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.002>
- THICKETT, S. C.; GILBERT, R. G, 2007. Emulsion Polymerization: State of the Art in Kinetics and Mechanisms. *Polymer* 2007, 48, 6965. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.09.031>
- ZHANG, T., XU, G., BLUM, F.D., 2023. Eco-Friendly Room Temperature Polymerization in Emulsions and Beyond, *Polymer Reviews* 63:4, 852-865.
<https://doi.org/10.1080/15583724.2023.2176514>

IMPACTO DA QUALIDADE DA MADEIRA NA INDÚSTRIA FLORESTAL E MADEIREIRA

DIAGNÓSTICO DO DESDOBRO E DA QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DE *Goupia glabra* E *Qualea* sp.

Fábio Henrique Della Justina do Carmo^{1*}; Jair Figueiredo do Carmo²; Maristela Volpato²; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas¹; Thiago Cardoso Silva¹; Emmanoella Costa Guaraná Araujo¹

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

² Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): fabio.henrique@unir.br

Resumo: A qualidade da madeira serrada é influenciada pelas características das espécies e pelo dimensionamento de serras. Objetivou-se avaliar a qualidade da madeira serrada de *Goupia glabra* e *Qualea* sp. em serraria localizada no norte de Mato Grosso, Brasil. Foram selecionadas duas toras por espécie, por meio das quais tomaram-se as medidas de altura, espessura e tempo de corte. Após o desdobro, foram realizadas medições em três pranchas por tora, totalizando 12 pranchas, utilizadas para determinar a variação total da serragem. Adicionalmente, foram tomadas as medidas dos parâmetros de corte da serra de fita utilizada pela serraria. A velocidade de corte não se correlacionou com a altura de corte das toras. Já a variação da serragem foi maior para a espécie *Goupia glabra*, podendo ser um indicativo da influência das maiores alturas de corte e densidade da madeira, haja vista que afeta a quantidade de cavaco gerado durante o desdobro e pode contribuir para maior variação de serragem, decorrente da evacuação ineficiente dos cavacos. Ademais, alguns dos parâmetros de corte da serra de fita utilizados pela indústria encontravam-se fora das faixas recomendadas na literatura. Avaliações futuras que considerem diferentes geometrias de serra para diferentes espécies poderiam diminuir a variação da serragem observada.

Palavras-chave: Serra de fita; Parâmetros de corte; Qualidade da madeira; Geometria de serras.

DIAGNOSIS OF THE SAWING AND QUALITY OF TIMBER FROM *Goupia glabra* AND *Qualea* sp.

Abstract: The quality of timber is influenced by the characteristics of the species and the size of the saws. The aim was to assess the quality of timber from *Goupia glabra* e *Qualea* sp. at a sawmill located in northern Mato Grosso, Brazil. Two logs per species were selected, and height, thickness and cutting time measurements were taken. After splitting, measurements were taken on three boards per log, totaling 12 boards, which were used to determine the total variation in sawdust. In addition, the cutting parameters of the band saw used by the sawmill were measured. The cutting speed did not correlate with the cutting height of the logs. Sawdust variation was higher for the *Goupia glabra* species, which may be an indication of the influence of higher cutting heights and wood density, since this affects the amount of chips generated during splitting and may contribute to greater sawdust variation, due to inefficient chip evacuation. Furthermore, some of the band saw cutting parameters used by the industry were outside the ranges recommended in the literature. Future evaluations that consider different saw geometries for different species could reduce the variation in sawdust observed.

Keywords: Band saw blade; Cutting Parameters; Wood quality; Saw geometry.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia industrial brasileira de produtos florestais destaca-se no mercado internacional devido às características edafoclimáticas e pelo fomento à exploração florestal e silvicultura (MOREIRA; OLIVEIRA, 2017). O setor de base florestal do Brasil caracteriza pela comercialização de ampla variedade de produtos, incluindo a madeira serrada, carvão vegetal, painéis, papel e celulose, pisos, além de produtos florestais não madeireiros (MOREIRA; OLIVEIRA, 2017).

No entanto, alguns segmentos desse setor requerem investimentos em tecnologias para otimização do processo produtivo. No processo de desdobro em serrarias, ainda são observados baixos rendimentos em madeira serrada. Parte dessa realidade ocorre devido à utilização de maquinários rudimentares e ausência de técnicas de otimização do processo, ocasionando baixos rendimentos volumétricos (VITAL, 2008). Dessa forma, os custos de produção de madeira serrada são elevados, diminuindo assim a eficiência da atividade.

Os fatores que afetam o rendimento em madeira serrada são relacionados à qualidade da tora, que considera aspectos como tortuosidade, conicidade e dimensões, e à técnica de desdobro adotada, que considera aspectos como o sistema de desdobro, os diagramas de corte e o nível tecnológico e operação dos equipamentos (VITAL, 2008). A manutenção adequada das lâminas de corte é fundamental para a garantia de qualidade da madeira serrada. O processo de desdobro envolve diversas etapas, como a definição da geometria dos dentes da serra de fita, o ajuste e reforço dos dentes por meio de recalque ou estelitagem, a regulação e alinhamento lateral, além da afiação final das lâminas (CARMO *et al.*, 2014).

Dessa forma, a manutenção adequada das lâminas de corte utilizadas para o desdobro da madeira é determinante para aumentar o rendimento e a qualidade dos produtos, garantindo assim, maior competitividade para a indústria. O objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da madeira serrada de *Goupia glabra* e *Qualea* sp. em serraria localizada no norte de Mato Grosso, além de indicar possibilidades de melhoria do processo de desdobro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma serraria localizada no município de Sinop, norte do estado de Mato Grosso, Brasil. Os principais produtos gerados pela indústria são forros e tábuas, a partir das espécies *Qualea* sp., *Trattinnickia burseraefolia*, *Goupia glabra*, *Parkia pendula*, *Erismia uncinatum* e *Solanum americanum*. Para as avaliações, foram selecionadas quatro toras, sendo duas da espécie *Qualea* sp. (Toras 1 e 2) e duas de *Goupia glabra* (Toras 3 e 4) localizadas no pátio da serraria. As informações sobre as dimensões das toras estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das toras utilizadas no diagnóstico de desdobro e qualidade da madeira serrada em indústria localizada em Sinop, Mato Grosso.

Espécie	Diâmetro da base (cm)	Diâmetro do topo (cm)	Comprimento (m)
<i>Qualea</i> sp.	47,30 ± 4,95*	44,85 ± 2,33	5,23 ± 0,06
<i>Goupia glabra</i>	54,75 ± 13,79	38,35 ± 0,21	5,99 ± 0,11

*Valores após “±”, indicam o desvio padrão.

A serra de fita horizontal utilizada pela indústria possuía volante com 1,2 m de diâmetro, velocidade de rotação da fita de 388,54 RPM, motor de fita de 1770 rotações e motor de 60cv. As polias do motor e da serra de fita possuíam 15 cm e 70 cm, respectivamente. As espessuras da serra e da trava eram de 1,3 mm e 2,8 mm, respectivamente.

Durante o processamento das toras, foram tomadas as medidas de tempo de corte, obtido a partir de cronômetro, altura e espessura de corte. O tempo de corte foi registrado iniciando a contagem a partir do início do desdobro até a finalização da serragem da tora. Para cada tora, foram realizadas medições em três pranchas, totalizando 12 pranchas analisadas. Para a variável espessura de corte, foram realizadas quatro medições por prancha, com auxílio de um paquímetro digital.

A análise de qualidade da madeira serrada foi realizada considerando os valores de variabilidade em espessura na mesma peça e entre peças, visando a determinação da variabilidade total, conforme as equações 1, 2 e 3 (CARMO *et al.*, 2014).

$$S_w = \sqrt{\frac{\sum S^2}{N}} \tag{1}$$

$$S_b = \sqrt{S_x^2 - \frac{S_w^2}{n}} \tag{2}$$

$$ST = \sqrt{(S_w)^2 + (S_b)^2} \tag{3}$$

Em que: S_w = variabilidade dentro da prancha; S^2 = média das variâncias de todas as pranchas; N = número de amostras (pranchas); S_b = variabilidade entre pranchas; S_x = desvio padrão dos valores médios para cada prancha; n = número de medições por peça e ST = variabilidade total (mm).

Para verificação dos parâmetros referentes à geometria do dente da serra, foi utilizado um papel milimetrado para posterior mensuração do ângulo de ataque, do ângulo de corte e do ângulo de incidência. Essas informações foram utilizadas para cálculo da área da garganta do dente. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, verificando a média, a variância e o desvio padrão dos parâmetros referentes ao tempo, à altura e à espessura de corte. Dados coletados no Projeto de Pesquisa 473/2022 da UFMT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade de avanço aplicada para desdobro de toras de *Qualea* sp. e *G. glabra* variou entre 13,96 e 17,47 metros por minuto (Tabela 2). A tora 1, apesar de ser a tora de menor comprimento que foi processada, apresentou a menor velocidade de avanço. Em contrapartida, a tora 3, tora de maior comprimento, apresentou a maior velocidade de avanço.

Tabela 2: Velocidade de avanço aplicada para desdobro de toras de *Qualea* sp e *Goupia glabra*.

Tora	Comprimento da tora (m)	Velocidade de avanço (m/min)			
		Prancha 1	Prancha 2	Prancha 3	Média
1	5,19	12,29	14,70	14,88	13,96
2	5,27	16,13	16,77	15,46	16,12
3	6,07	15,67	18,61	18,13	17,47
4	5,91	16,20	16,27	16,12	16,20

Na Tabela 3 são apresentadas as médias de variação de espessura das peças desdobradas em pranchas das duas espécies. As toras desdobradas apresentaram uma variação total de serragem (ST) de 2,001 mm. Para a espécie *Qualea* sp., foi verificada variabilidade na mesma prancha (S_w) de 0,736

mm, variabilidade entre pranchas (Sb) de 1,168 mm e variação total de serragem de 1,381 mm. Para a espécie *G. glabra*, foi verificada variabilidade na mesma prancha (Sw) de 1,894 mm, variabilidade entre pranchas (Sb) de 1,812 mm e uma variação total de serragem de 2,621 mm.

Tabela 3. Variação da espessura de peças de madeira serrada de *Goupia glabra* e *Qualea* sp.

Tora	Prancha	Espessura 1 (mm)	Espessura 2 (mm)	Espessura 3 (mm)	Espessura 4 (mm)	Média (desvio padrão) (mm)
1	1	48,46	50,27	49,25	50,17	49,54 ($\pm 0,853$)
	2	52,54	53,18	51,46	53,38	52,64 ($\pm 0,864$)
	3	48,50	52,28	48,41	51,70	50,22 ($\pm 2,055$)
2	1	51,01	50,16	51,48	51,86	51,13 ($\pm 0,733$)
	2	50,51	51,08	52,34	52,58	51,63 ($\pm 0,994$)
	3	50,70	50,55	51,97	52,13	51,34 ($\pm 0,828$)
3	1	50,62	54,03	55,29	55,45	53,85 ($\pm 2,243$)
	2	55,40	58,17	51,54	52,26	54,34 ($\pm 3,053$)
	3	51,84	55,13	56,40	56,51	54,97 ($\pm 2,179$)
4	1	48,55	49,98	50,49	55,33	51,09 ($\pm 2,945$)
	2	55,29	56,67	50,11	52,90	53,74 ($\pm 2,879$)
	3	50,30	51,80	52,30	57,10	52,88 ($\pm 2,942$)

Quanto menor a variação da espessura das peças de madeira serrada, melhor será a eficiência da serragem, pois irá gerar um baixo percentual de pó de serra (VITAL, 2008). Maiores variações da serragem resultam em peças menos uniformes, tornando o processo menos eficiente e com peças de menor qualidade (GONÇALVES, 2000; VITAL, 2008). Tal característica pode estar relacionada com a altura de corte, uma vez que o diâmetro da base das toras da espécie *Goupia glabra* foi maior. Alturas de corte elevadas sugerem que esta variação ocorre pela limitação da garganta do dente da serra de fita em armazenar o pó de serra gerado durante o processamento da madeira. Dessa forma, quanto maior for a altura de corte em relação à capacidade de armazenamento da garganta do dente, maior será a variação na serragem (ANQUETIL *et al.*, 1996).

Outro parâmetro que pode influenciar esse comportamento é a densidade básica da madeira. Estudos que realizaram a caracterização física da madeira dessas duas espécies demonstraram valores de densidade entre 657 e 730 kg/m³ (ZAQUE *et al.*, 2019; MEDEIROS *et al.*, 2021; QUISTIN *et al.*, 2023) para o gênero *Qualea* sp. e entre 710 e 883 kg/m³ para a espécie *G. glabra* (ZAQUE *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2020; QUISTIN *et al.*, 2023). Tal característica contribui com a maior quantidade de cavaco gerado durante o desdobro, podendo contribuir com a maior variação de serragem devido à evacuação ineficiente dos cavacos (GONÇALVES, 2000; VITAL, 2008). Neste caso, uma maior área de garganta de dente seria necessária para maior qualidade de corte.

A serra de fita utilizada pela indústria para desdobro das toras apresentou ângulo de ataque de 14°, ângulo de corte de 51° e ângulo de incidência de 25°. Já a altura do dente foi de 15 mm, o passo do dente de 45 mm, a espessura e largura da lâmina de 1,3 mm e 15 cm, respectivamente, e a área da garganta do dente calculada foi de 4,3 cm². Quanto maior a altura do dente, menores são os desvios no desdobro devido à maior área disponível para acúmulo de cavaco, contribuindo com a boa evacuação dos cavacos produzidos no processo de serragem (CARMO *et al.*, 2014).

Carmo *et al.* (2014) avaliaram o processo de desdobro do cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.) e identificaram que as maiores variações na espessura das peças desdobradas estavam associadas à

geometria dos dentes da lâmina da serra de fita utilizada na serraria. De acordo com CTBA (2001), valores ideais para os parâmetros de corte consideram ângulo de ataque entre 20° e 40°, ângulo de incidência menor ou igual que 14° e ângulo de corte maior que 50°, definido como zona de bom corte. Dessa forma, dos parâmetros medidos neste estudo, o ângulo de incidência de 25° se encontra acima do recomendado.

No entanto, é comum se observar em serrarias, sobretudo na Amazônia, perfis de dentes dimensionados sem considerar as especificações por espécie ou por tamanho de tora. Em alguns casos, dentro dos parâmetros de geometria do dente avaliados, as indústrias, usualmente, alteram somente a altura do dente, com poucas variações de ângulos de ataque, de corte, incidência (VIDAURRE *et al.*, 2008). Assim, técnicas de afiação ajustadas às características da matéria-prima e espécies utilizadas na indústria permitem adequar a variação de ângulos, altura e passo do dente de serras de fita, visando reduzir as variações no desdobro, resultando em maior qualidade da madeira serrada.

4. CONCLUSÃO

O diagnóstico realizado indica que alguns parâmetros de corte utilizados pela serraria se encontravam abaixo dos padrões recomendados na literatura, indicando possíveis pontos de melhoria. A madeira serrada de *Goupia glabra* apresentou a maior variação após desdobro, o que pode estar relacionado à maior altura de corte e densidade da madeira. Recomenda-se considerar o aumento da área de garganta do dente da serra, considerando maior amplitude de altura de corte, visando reduzir as variações de serragem.

REFERÊNCIAS

- ANQUETIL, F.; BOYER, H.; JUAN, J. **Entretien et Affûtage des Outils de Coupe**. CTBA - Centre Technique du Bois et de L'ameublement, 1996, 206 p.
- CARMO, J. F.; LATORRACA, J. V. F.; ROCHA, M. P.; BRITO, E. O. Influência da geometria dos dentes das lâminas de serra de fita na qualidade e produtividade da madeira serrada. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 291 - 302, 2014.
- CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT (CTBA). **Manuel scierie: Techniques et matériels**. Département Bois et Sciage, 2001.
- GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: DCX-USC, 2000, 242p.
- LIMA, R. N.; NEVES, J. A. S.; OLIVEIRA, F. S.; CARDOSO, J. F.; SANTOS, I. S.; NOBRE, J. R. C. Avaliação das propriedades físicas de três espécies florestais amazônicas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1673 - 1678, 2020.
- MEDEIROS, D. T.; BATISTA, F. G.; MELO, R. R.; MASCARENHAS, A. R. P.; PEDROSA, T. D. Alterações físico-mecânicas na madeira de cambará (*Qualea paraensis*) termorretificada. **Madera y Bosques**, v. 27, n. 2, 2021.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF, Embrapa, 2017.

QUISTIN, P.; FOURNELY, E.; GRIL, J.; GODI, G.; CADOR, L.; LAMADON, T.; ROMANA, L.; BEAUCHÊNE, J.; PITTI, R. M. Timber structures in subtropical climate on design: BOIS DURAMHEN programs for Guadeloupe, Martinique and Guyane. **World Conference on Timber Engineering**, Oslo, 2023.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; CARVALHO, A. M. M. L.; LUCIA, R. M. D.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito da geometria dos dentes da serra de fita na produção de madeira serrada de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 939 - 947, 2008.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação em serrarias**. 1. ed. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2008, 211p.

ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R.; SOUZA, E. C.; JUNIOR, L. S. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 236-246, 2019.

COEFICIENTE DE RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DA MADEIRA DE TECA PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

Fábio Henrique Della Justina do Carmo^{1*}; João Vicente de Figueiredo Latorraca²; Maristela Volpato³; Poliane Pereira de Souza²; Osmar de Freitas Neves Junior²; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas¹; Thiago Cardoso Silva¹; Emmanoella Costa Guaraná Araujo¹

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

³ Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

² Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): fabio.henrique@unir.br

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar o rendimento volumétrico da madeira de teca em diferentes posições do tronco para produção de peças de madeira serrada. O material utilizado no estudo foi proveniente de um plantio de *Tectona grandis* com 12 anos de idade. Todo o processamento da madeira foi realizado na serraria do Núcleo de Pesquisa em Qualidade de Árvores e Madeira, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As árvores de teca, seccionadas e divididas em três partes/toras (base, meio e topo), tiveram suas medidas tomadas para verificação do volume de madeira em tora e conicidade. Para o desdobro, foram realizados cortes paralelos ao eixo longitudinal utilizando uma serra de fita vertical. Calculou-se o volume de madeira serrada para cada posição do tronco. O Coeficiente de Rendimento Volumétrico foi maior para a posição da base, apesar da maior conicidade apresentada. Tal resultado pode estar relacionado ao baixo diâmetro das toras das posições meio e topo. O rendimento encontrado para a espécie está condizente com o rendimento apresentado por outros trabalhos da espécie e para madeiras de folhosas.

Palavras-chave: Serraria; Desdobro; *Tectona grandis*; Conicidade.

VOLUMETRIC YIELD COEFFICIENT OF TEAK WOOD FOR LUMBER PRODUCTION

Abstract: The aim of this study was to evaluate the volumetric yield of teak wood in different trunk positions to produce sawn wood pieces. The material used in the study came from a 12-year-old *Tectona grandis* plantation. All wood processing was carried out at the sawmill of the Núcleo de Pesquisa em Qualidade de Árvores e Madeira, from Federal Rural University of Rio de Janeiro. The teak trees, sectioned and divided into three parts/logs (base, middle and top), had their measurements taken to verify the volume of wood in logs and taper. For the cutting process, saws were made parallel to the longitudinal axis using a vertical band saw. The volume of sawn wood was calculated for each position of the trunk. The Volumetric Yield Coefficient was higher for the base position, despite the higher taper. Such a result may be related to the low diameter of the logs in the middle and top positions. The yield found for the species is consistent with the yield shown by other studies of the species and for hardwood.

Keywords: Sawmill; Log breakdown; *Tectona grandis*; Taper.

1. INTRODUÇÃO

Os plantios florestais têm atendido à demanda por madeira como alternativa ao uso de espécies nativas, mas ainda requerem expansão de áreas para impulsionar a produtividade no setor. No ano de 2023, a área plantada no Brasil foi de aproximadamente 10 milhões de hectares (IBÁ,2024), porém

estas áreas foram destinadas majoritariamente à produção de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Apesar do destaque desses gêneros, o país tem aumentado a produção de madeira de teca (*Tectona grandis* Linn F.), chegando a produzir cerca de 3 milhões de m³ de toras em 2023 (IBGE, 2025), o que corresponde a cerca de 2% da produção nacional.

A madeira de teca é amplamente usada em construção naval, móveis, pisos e estruturas externas devido à sua resistência à umidade, durabilidade e beleza natural (MOREIRA et al., 2021). Sua aplicação inclui desde decks de construções navais até móveis para uso externo e revestimentos, sendo valorizada por requerer pouca manutenção e resistir a pragas e intempéries (MIRANDA; SOUSA; PEREIRA, 2011). Porém, cerca de 50% das toras de teca viram subprodutos (DAL PONTE FILHO et al., 2006; CARMO et al., 2020), sendo necessário aumentar o rendimento em madeira serrada nas unidades de processamento.

Sabe-se que diversos fatores influenciam na redução do rendimento em madeira serrada, destacando-se os parâmetros de qualidade de toras, como conicidade, achatamento e encurvamentos, além de defeitos na superfície da carga rolante, como fendilhamentos, desenvolvimento de nós e rachaduras, que são transmitidas para as peças desdobradas (VITAL, 2008). Além disso, toras de maiores diâmetros podem ser melhor aproveitadas na serraria, reduzindo perdas durante o desdobro. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das características da redução das dimensões de toras de teca no rendimento em madeira serrada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo foi proveniente de um plantio comercial da espécie *Tectona grandis* com 12 anos de idade. Ao todo foram desdobradas 48 árvores. Cada árvore foi dividida em três partes/toras (base, meio e topo), totalizando 144 toras avaliadas. O desdobro foi realizado na serraria do Núcleo de Pesquisa em Qualidade de Árvore e Madeira (NPQAM) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Foram realizadas medições das circunferências e comprimentos de cada tora. Para as circunferências, foram tomadas quatro medidas equidistantes ao longo do comprimento com auxílio de uma fita métrica e transformadas em diâmetro para cálculo do volume de tora, considerando a média das circunferências e o comprimento da tora, ambas em centímetro (cm). Para determinação da conicidade das toras, foi utilizada metodologia proposta pelo IBDF (1984), conforme Equação 1.

$$C = \frac{(D - d)}{L} \quad (1)$$

Em que: C: conicidade (cm/m); D: diâmetro maior da tora (cm); d: diâmetro menor da tora (cm); e L: comprimento da tora (m).

O desdobro foi realizado visando o máximo aproveitamento de peças, em sistema “bica corrida”, sendo aplicadas a largura mínima de 5,0 cm e espessura fixada em 2,5 cm, considerando sobremedida de 0,3 cm no desdobro primário. Foram realizados cortes paralelos ao eixo longitudinal em dois esquemas de acordo com o diâmetro da tora (Figura 1), utilizando uma serra de fita vertical para retirada das tábuas e, posteriormente, alinhadas em uma serra circular simples.

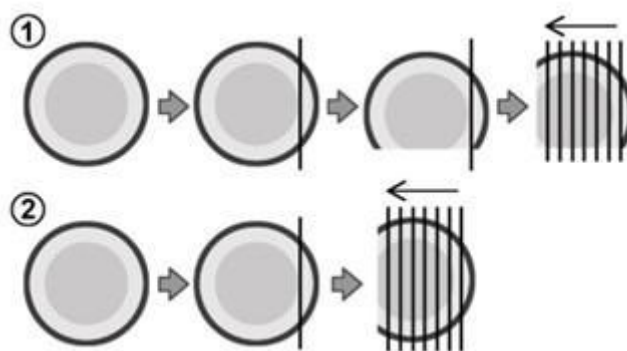


Figura 1: Esquemas para realização de desdobro de toras de *Tectona grandis* com 12 anos. 1 – Modelo de desdobro considerando dois tombos da tora. 2 – Modelo de desdobro considerando um tombo na tora.

Para determinação do volume de madeira serrada, foram tomadas medidas individuais médias das espessuras, larguras e comprimento das peças. Para a espessura, a largura e o comprimento foram tomadas 10, quatro e uma medidas, respectivamente, sendo o volume por peça determinado de acordo com as Equações 2 e 3, adaptadas de Rocha (2002) por Carvalho et al. (2019) (Figura 2).

$$V_{\text{tábua}} = L_p \times E_p \times C_p \quad (2)$$

Em que: $V_{\text{tábua}}$: volume de cada peça (cm^3); L_p : largura da peça (cm); E_p : espessura da peça (cm); C_p : comprimento da peça (cm).

$$V_{ms} = \sum V_t \quad (3)$$

Em que: V_{ms} : volume de madeira serrada (cm^3); $\sum V_t$: somatório do volume de madeira serrada.

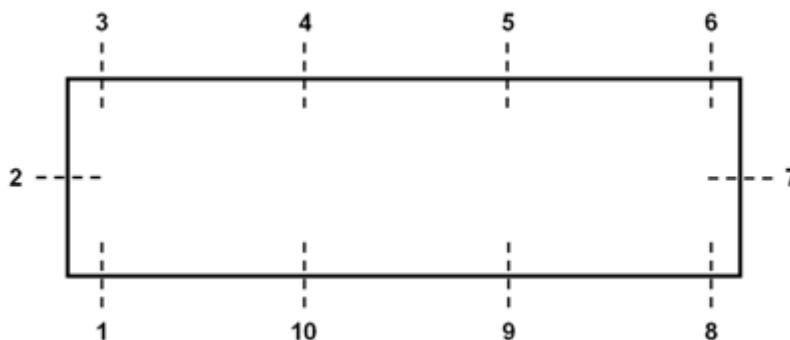


Figura 2: Esquemas de distribuição dos pontos de medição das tábuas de *Tectona grandis* após desdobro.

Para o cálculo do Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV), considerou-se o volume de madeira serrada e o volume individual por tora, conforme Equação 4, de acordo com metodologia de Carvalho et al. (2019).

$$CRV = \left(\frac{V_{ms}}{V_t} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que: CRV: coeficiente de rendimento volumétrico (%); V_t : volume da tora (cm^3).

Para as variáveis avaliadas, foi realizada estatística descritiva. As médias de CRV e conicidade entre as diferentes partes das árvores foram comparadas utilizando análise de variância e teste de Tukey (5%). Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (5%) para verificação da normalidade dos dados. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no programa R (versão 4.5.0).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os principais resultados da estatística descritiva para o CRV e a conicidade observados para toras de teca em diferentes posições do tronco. Quanto ao CRV, foi observada uma tendência de redução na ordem de 12% entre os desdobros das toras da base e do meio e de 7% entre os das toras do meio e as do topo. As toras do topo eram menos cônicas que as toras do meio do fuste, que também eram menos cônicas que as da base.

Tabela 1: Estatística descritiva do Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV) e conicidade para toras de *Tectona grandis*, com 12 anos de idade, obtidas em diferentes posições do tronco.

Estatística descritiva	CRV (%)			Conicidade (mm/m)		
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo
Mínimo	24,54	18,02	23,23	2,75	1,67	0,36
Média	48,55	42,70	39,88	5,86	4,43	3,70
Máximo	69,52	56,06	54,97	9,03	9,03	9,18
Amplitude	44,98	38,04	31,74	6,28	7,36	8,82
Desvio padrão	11,50	9,74	6,78	1,541	1,85	1,61
Coeficiente de variação	23,69	22,82	17,01	26,27	41,80	43,46

Os maiores valores tanto para o CRV como a conicidade foram observados para as toras da base da árvore (Tabela 2). De forma geral, espera-se que quanto maior o diâmetro da tora, maior o rendimento em madeira serrada (BONATO JUNIOR et al., 2017), pois quanto maior o diâmetro da tora, menores são as proporções de costaneiras eliminadas durante o desdobro, em relação ao volume inicial (NASCIMENTO, 2021). A influência da classe diamétrica no rendimento em madeira serrada também foi demonstrada por Juízo et al. (2015), que analisaram duas espécies de madeiras e observaram relação positiva entre a classe diamétrica e o rendimento volumétrico.

Tabela 2: Teste de médias de Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV) e conicidade para toras de *Tectona grandis*, com 12 anos de idade, obtidas em diferentes posições do tronco.

Posição	CRV (%)	Conicidade (mm/m)
Base	48,55 a	5,86 a
Meio	42,70 b	4,43 b
Top	39,88 b	3,70 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

A maior conicidade observada na tora da base já foi demonstrada por outros autores como Oliveira et al. (1999), que avaliaram toras de eucalipto em diferentes alturas e afirmaram que a conicidade tende a reduzir a partir de segunda tora, aumentando desta forma o rendimento volumétrico. Apesar da maior conicidade, a tora da base teve o maior rendimento, possivelmente devido à pouca idade das árvores e ao menor diâmetro das toras das outras seções.

Os CRVs encontrados estão de acordo com valores encontrados por outros autores e corroboram com valores observados para espécies folhosas (Angiospermas), geralmente entre 45% e 55% (VITAL, 2008). Carmo et al. (2020), avaliando dois métodos de desdobro (paralelo ao eixo e paralelo à casca), encontraram CRV variando entre 48,03% e 51,56%. Já Albuês (2020) avaliou o rendimento da madeira de teca com 15 anos de idade e encontrou rendimento comercial de 55,72%.

Neste caso, a maior idade do plantio pode ter contribuído com o maior rendimento volumétrico. Além disso, Queiroz (2018) encontrou rendimento de 38,89% para teca com nove anos de idade.

Portanto, as toras da base do tronco de teca tendem a apresentar melhor aproveitamento da madeira após desdobro, mesmo com maior conicidade. Com estes valores de CRV é possível confirmar o potencial produtivo da teca mesmo em plantios jovens e maior aproveitamento do fuste visando maior volume de madeira serrada.

4. CONCLUSÃO

A redução das dimensões das toras nas posições meio e topo resultou em menores rendimentos em madeira serrada e menor conicidade. Apesar dessa característica, os menores rendimentos podem estar relacionados ao baixo diâmetro das toras nessas posições. Ainda, o rendimento encontrado está na faixa de rendimento da espécie encontrado em literatura.

REFERÊNCIAS

ALBUÊS, T. A. S. **Qualidade de *Tectona grandis* L.f. para produção de madeira serrada**. 2020. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

CARMO, J. F.; CARMO, F. H. D. J.; MIRANDA, D. L. C.; VOLPATO, M.; TEIXEIRA, K. T. Influência do desdobro tangencial no rendimento e na qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 808-814, 2020.

CARVALHO, D. E.; PEREIRA, M.; JUNIOR, R. T.; KLITZKE, R. J.; FLORESTAL, D. P. E.; FEDERAL, U. Rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 23, p. 8 - 13, 2019.

DAL PONTE FILHO, J. L.; GOMES, J. E.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Censo das árvores remanescentes - determinação do rendimento e produtividade de madeira serrada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga - LCF/Esalq/USP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 4, n. 8, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Normas para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas**. Brasília, p. 42, 1984.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual IBÁ 2024**. São Paulo: IBÁ, 2024. 96 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=destaques>>; Acesso em 16 mai 2025.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; MARCHESAN, R.; JOSSÉFA, C. G.; CHAÓRA, I. J.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Influência da classe diamétrica no rendimento em madeira serrada de duas espécies nativas de Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 293 - 298, 2015.

BONATO JUNIOR, A. I.; ROCHA, M. P.; JUIZO, C. G. F.; KLITZKE, R. J. Efeito do sistema de desdobro e das classes diamétricas no rendimento em madeira serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; FILHO, M. T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 113 - 124, 1999.

QUEIROZ, F. L. C. **Qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. de diferentes procedências para utilização na indústria de produtos florestais**. 2018. 173f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MIRANDA, I.; SOUSA, V.; PEREIRA, H. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. **Journal of Wood Science**, v. 57, p. 171 - 178, 2011.

MOREIRA, M. F.; CARVALHO, P. B. N.; SILVA, E. C.; MENDONÇA, A. P.; ANTUNES, C. D. Teca: implantação e produção no Brasil. **Arrudea**, v. 7, p. 73 - 82, 2021.

NASCIMENTO, J. C. **Influência da classificação de toras, características anatômicas e dendrométricas e o tempo de espera no rendimento volumétrico de *Nectandra rubra* (Mez) C. K. Allen**. 2021. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia, Manaus, 2021.

VITAL, B. R. **Planejamento e operações de serrarias**. Viçosa, MG: UFV, 2008.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* EM DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO

Tauana de Souza Mangini^{1*}; Luana Candaten²; Daniela Minini¹; Bruno Taffarel Skittberg³; Guilherme Valcorte²; Roberta Rodrigues Roubuste²; Elder Eloy⁴; Rômulo Trevisan⁴

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

² Departamento de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Brasil.

⁴ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Brasil.

*tauanamangini@yahoo.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas em flexão estática e densidade básica da madeira de *Eucalyptus dunnii* com 23 anos, considerando diferentes posições longitudinais (tora 1 e tora 2) e transversais (radial e tangencial). Para isso, foram confeccionados 12 corpos de prova por tratamento, conforme a norma ASTM D 143-94. Os parâmetros avaliados foram: módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), tensão no limite proporcional (TLP) e força máxima (FM). Os resultados indicaram tendência de aumento das propriedades mecânicas na tora 2, localizada em posição superior no fuste, sugerindo maior rigidez e resistência mecânica associadas a possíveis variações na densidade da madeira. A análise estatística revelou diferenças para o MOE e TLP, principalmente na posição tangencial da tora 2. Os resultados evidenciam a influência da posição de retirada da madeira sobre suas propriedades mecânicas, contribuindo para o melhor aproveitamento tecnológico e estrutural do *E. dunnii* em processos industriais.

Palavras chave: flexão estática, variação axial, resistência mecânica, densidade básica.

EVALUATION OF THE MECHANICAL QUALITY OF *Eucalyptus dunnii* WOOD IN DIFFERENT POSITIONS OF THE TRUNK

Abstract: The present study aimed to evaluate the mechanical properties in static bending and basic density of 23-year-old *Eucalyptus dunnii* wood, considering different longitudinal positions (log 1 and log 2) and transverse positions (radial and tangential). For this purpose, 12 specimens were prepared per treatment, according to ASTM D 143-94. The parameters evaluated were: modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), proportional limit stress (TLP) and maximum force (FM). The results indicated a tendency for increased mechanical properties in log 2, located higher in the stem, suggesting greater rigidity and mechanical resistance associated with possible variations in wood density. Statistical analysis revealed significant differences for MOE and TLP, mainly in the tangential position of log 2. The results demonstrate the influence of the position of removal of the wood on its mechanical properties, contributing to the better technological and structural use of *E. dunnii* in industrial processes.

Keywords: static bending, axial variation, mechanical strength, basic density.

1. INTRODUÇÃO

As florestas desempenham um papel fundamental, não apenas para o meio ambiente, mas também para a sociedade e a economia (GANASSOLI *et al.* 2025). De acordo com o IBÁ (2024), em 2023, a área total dedicada ao plantio de árvores no Brasil ultrapassou, pela primeira vez, os 10 milhões de hectares, um crescimento de 3% em comparação ao ano anterior e dentre os tipos de plantios, o eucalipto se destaca, abrangendo 7,8 milhões de hectares, o que corresponde a 76% da área total plantada (IBÁ, 2024). Esse gênero se destaca pois é amplamente utilizado devido ao seu rápido crescimento, adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e elevada produtividade. Dentre essas espécies, o *Eucalyptus dunnii* Maiden tem se destacado como uma opção promissora para regiões de clima mais ameno, especialmente no Sul do Brasil, apresentando bom desempenho silvicultural e resistência a geadas (ABRAF, 2013).

A qualidade tecnológica da madeira de *E. dunnii* depende de propriedades físicas, anatômicas e, sobretudo, mecânicas, que influenciam diretamente sua aplicação industrial (VIDAURRE *et al.*, 2020). Dentre as propriedades mecânicas, os parâmetros de flexão estática representam importantes indicadores da rigidez e da resistência da madeira a esforços externos. A determinação dessas variáveis é fundamental para a caracterização estrutural da madeira, possibilitando seu uso onde o desempenho mecânico é importante (BENIN *et al.*, 2017; TALGATTI *et al.*, 2018).

Adicionalmente, variações nas propriedades ao longo do tronco e na direção do corte (peças radiais ou tangenciais) podem exercer influências sobre as propriedades mecânicas da madeira (MASCIA *et al.*, 2020; 2021). Compreender essas variações permite o aproveitamento racional da madeira, reduzindo perdas e direcionando seu uso conforme as propriedades exigidas.

Nesse contexto, o presente trabalho visa comparar as propriedades de flexão estática e densidade básica da madeira de *Eucalyptus dunnii* entre diferentes posições longitudinais (tora 1 e tora 2) e transversais (radial e tangencial), buscando identificar padrões de variação que auxiliem no melhor aproveitamento tecnológico da madeira e contribuam para o aprimoramento de sistemas de manejo e classificação de materiais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo foi utilizada madeira da espécie de *Eucalyptus dunnii*, com 23 anos de idade, proveniente de um plantio localizado no município de Rio Pardo - RS, pertencente à Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA). A área está localizada a uma latitude de 29°59'23" Sul e uma longitude de 52°22'41" Oeste. O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen (1931), é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical.

Para a seleção das árvores foi feito o inventário florestal que permitiu conhecer o diâmetro médio tomado a 1,30 metros do solo (DAP – diâmetro à altura do peito), que foi utilizado como critério de seleção das árvores. Dessa forma, selecionou-se as três árvores com diâmetro médio de 65 cm e, dessas foram retiradas duas toras de cada indivíduo com comprimento médio de 3 metros cada. As toras foram submetidas ao desdobro primário (serra fita vertical com carro transportador) para a obtenção de pranchões centrais de 5 cm, do qual foram retiradas quatro ripas, sendo duas mais próximas à medula e duas próximas da extremidade (casca).

Para o ensaio de flexão estática as amostras foram confeccionadas com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm (radial, tangencial e longitudinal) conforme a norma ASTM D 143-94 (2000). Foram produzidas 12 repetições para cada tratamento (posição radial e tangencial; tora 1 e tora 2), totalizando 48 amostras. Após a preparação, as amostras foram acondicionadas em câmara climática até atingirem

uma umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%. Em seguida, realizou-se os ensaios de flexão estática em uma máquina universal de ensaio com capacidade para 20 quilonewton. Para tal variável, determinou-se: módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR), tensão no limite proporcional (TLP) e a força máxima (FM).

Foram confeccionados discos nas extremidades das toras para determinação da densidade básica, os discos foram divididos em cunhas simetricamente opostas, contendo a medula, cerne e alborno. As amostras foram imersas em água até atingirem a saturação total das fibras. As cunhas saturadas foram pesadas e submetidas ao cálculo do volume saturado por meio do método da balança hidrostática. Em seguida, foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 103 °C até atingirem massa constante conforme a NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

Os dados foram submetidos à análise estatística por meio do Software “Statistical Analysis System” (SAS 2003), em que se procedeu com a análise de variância, teste F, análise de verificação da normalidade dos dados, a qual foi realizada pelo teste Shapiro-Wilk, teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 1 que apresentou os valores médios das propriedades de flexão estática da madeira de *Eucalyptus dunnii*, nas posições radial e tangencial e das toras 1 e 2, observou-se um aumento das propriedades mecânicas no sentido longitudinal, ou seja, da tora 1 para a tora 2, o que pode indicar um possível ganho em rigidez e resistência com o avanço ao longo do fuste.

Tabela 1. Análise mecânica de flexão estática nas posições longitudinal e transversal da madeira de *Eucalyptus dunnii*.

Flexão Estática	Posição	Tora 1	Tora 2
MOR (Mpa)	Radial	75,8 aB	82,4 aA
	Tangencial	75,9 aB	79,9 aA
MOE (Mpa)	Radial	9297,1 aB	10193,9 aA
	Tangencial	8989,2 aB	10045,6 aA
TLP (Mpa)	Radial	47,5 aB	52,5 aA
	Tangencial	44,2 bB	46,4 bA
FM (N)	Radial	2266,5 aA	2338,7 aA
	Tangencial	2232,9 aA	2287,9 aA
Diâmetro (cm)	Média	63,5 A	56,02 B
Densidade básica (kg/m ³)	Média	528,8 A	555,6 A

Onde: as médias seguidas por letras minúsculas na coluna comparam a tora dentro de cada posição e letras maiúsculas na linha comparam as toras para cada posição, de acordo com o teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

De acordo com a análise estatística, não foram observadas diferenças entre as posições radial e tangencial, estando em conformidade com o trabalho realizado por Mascia et al. (2021) para espécie *Acer saccharum*. Entretanto, para o parâmetro TLP, houve uma exceção, ou seja, uma diferença entre as toras em diferentes posições. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de mesmo refletir

a máxima tensão suportada pelo material mantendo uma relação linear entre tensão e deformação, conforme estabelece a Lei de Hooke (ALMEIDA et al., 2023).

Embora não tenham sido constatadas diferenças estatísticas para os demais parâmetros, observou-se uma tendência de aumento das propriedades mecânicas da tora 1 para tora 2. De maneira geral, os valores de resistência e rigidez obtidos foram maiores na segunda tora, em comparação com a primeira. Tal comportamento pode estar relacionado à densidade básica da madeira, uma vez que essa característica física apresenta correlação direta com as propriedades mecânicas (MIRANDA et al., 2021; ARAÚJO et al., 2023), sendo que a mesma foi superior na segunda tora. Mesmo não havendo diferenças, Teixeira et al. (2011), ao estudarem a madeira de *Anadenanthera peregrina* observaram que a resistência está diretamente relacionada com a densidade da madeira.

Ao avaliar individualmente os parâmetros, o MOR apresentou os maiores valores na tora 2, tanto na posição radial (82,4 MPa) quanto na tangencial (79,9 MPa), o que corrobora a relação positiva com a densidade. De forma semelhante MOE também foi mais elevado na tora 2 em ambas as direções, com destaque para a tangencial (10045,6 MPa), que diferiu significativamente da tora 1 (8989,2 MPa). Essa diferença indica um possível aumento da rigidez da madeira com a altura do fuste, possivelmente associado a variações na densidade ao longo do tronco. Em geral, madeiras com maior densidade tendem a apresentar maior rigidez e resistência, como observado por Araújo et al. (2023), que identificaram correlação direta entre a densidade básica e os valores de MOE e MOR em espécies folhosas. Estudo semelhante realizado por Silva (2000) em *Eucalyptus grandis* aos 10 anos registrou valor médio de MOE de 10131,3 MPa, semelhante ao obtido neste estudo.

A FM necessária para provocar a ruptura da madeira também apresentou valores superiores na tora 2, tanto na direção radial quanto na tangencial. Embora as diferenças entre toras não tenham sido estatisticamente significativas, os valores mais elevados podem indicar uma leve superioridade estrutural da madeira no terço superior do fuste.

De forma geral, os resultados indicaram que a madeira da tora 2, localizada em uma posição mais elevada no fuste, apresentou melhores propriedades mecânicas em flexão estática, com destaque para a rigidez (MOE) e a resistência à ruptura (MOR). Essas diferenças podem estar associadas à variação anatômica ao longo do tronco, como mudanças no arranjo das fibras, na proporção de lenho tardio e na presença de madeira juvenil e adulta (TREVISAN et al., 2024). Outro fato é que a variação da densidade da madeira de eucalipto ao longo do fuste pode se comportar de diferentes maneiras, aumentando ou diminuindo com a altura, aumenta até certa altura do tronco e depois reduz com a copa e pode decrescer até certa altura e posteriormente aumenta em direção à copa (BOSCHETTI et al., 2020).

Estudos como o de Eloy et al. (2021) observaram resultados semelhantes ao do presente estudo ao avaliarem a espécie de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na face tangencial, observaram um valor médio de 89,3 Mpa, 10304 Mpa, 57,4 Mpa, e 2711 Mpa, para as variáveis MOR, MOE, TLP, e FM, respectivamente.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a posição longitudinal ao longo do fuste influencia significativamente as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunni*, sobretudo o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, que apresentam maiores valores na tora 2.

Nota-se um aumento da rigidez e resistência com a altura da árvore, possivelmente associado à maior densidade da madeira nas posições superiores do tronco. Apesar de nem todas as diferenças

terem sido significativas, as tendências observadas reforçam a importância de considerar a variação longitudinal nas árvores no aproveitamento tecnológico da madeira.

A análise da tensão no limite proporcional também evidenciou diferenças entre posições, sugerindo que a orientação do corte (radial ou tangencial) e a altura da tora devem ser levadas em conta em processos de classificação e uso estrutural da madeira.

Quanto a densidade básica, nota-se que para o *Eucalyptus dunnii* a segunda tora apresenta maiores resultados, apesar de não haver diferença com a primeira.

Assim, os dados apresentados contribuem para a otimização do uso da madeira de *Eucalyptus dunnii*, oferecendo subsídios técnicos para o melhor aproveitamento em serrarias e para a definição de critérios mais eficientes de seleção de matéria-prima.

REFERÊNCIAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS.

Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 2013. 142 p.

Almeida, T. H. de.; Almeida, A. H. de.; Souza, C. G. F. de.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. Curva de carregamento do ensaio de flexão estática em madeira. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 6, p. 4161–4170, 2023.

Araujo, S. de L.; Melo, A. B.; Oliveira, L. de J.; da Silva, J. G. M.; de Almeida, M. N. F.; da Silva, P. H. M.; Vidaurre, G. B.; Godinho, T. F. Cor, grã e propriedades físico-mecânicas da madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais. **Scientia Forestalis**, v. 51, e4029, 2023.

Benin, C. C.; Watzlawick, L. F.; Hillig, É. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 04, p. 1375-1384, 2017.

Boschetti, W. T. N.; Vidaurre, G. B.; Da Silva, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. 132 p. **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. EDUFES, Vitória, 2020

Eloy, E.; da Silva Zanchetta, L.; Bandera, E.; Mangini, T. de S.; Trevisan, R. Influence of anatomy on the mechanical resistance of woods in an agroforestry system. **Floresta**, v. 53, n.1, 2021.

Ganassoli, A. P.; Mangini, T. de S.; Monteiro, T. C.; Schütz, A. L. Wettability of *Eucalyptus* and *Corymbia* wood: analysis of the sections and regions of the stem. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, p. 1-8, 2025.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores: Anuário estatístico 2024. Brasília, 2024.

Mascia, N. T.; Krestchmann, D.; Ribeiro, A. Evaluation of tension perpendicular to grain strengths in small clear samples of sugar maple for radial, tangential and 45-degree loading directions. **Materials Research-Ibero-american Journal of Materials**, v. 23, p. 1-14, 2020.

Mascia, N. T.; Kretschmann, D. E.; Ribeiro, A. B. Avaliação da resistência à tração perpendicular às fibras da madeira nas direções radial e tangencial. **Revista Principia**, v. 57, p. 14-27, 2021.

Miranda, J. A. da S.; Marchesan, R.; Santos, M. C.; Da Silva, R. C.; Silva, M. A.; Ferreira, J. A.; Barros, A. O. R.; Dos Santos, A. F.; Fortes, R. A.; França, M. C. **Relação Entre Densidade Básica E Resistência À Flexão Estática Da Madeira De Três Espécies Nativas Do Cerrado. Publicado No Livro Madeiras Nativas E Plantadas Do Brasil: Qualidade, Pesquisas E Atualidades - Volume 2**, 2021.

Talgatti, M.; da Silveira, A. G.; Santini, E. J.; Gorski, L.; Baldin, T.; Valcorte, G. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de eucalipto. **Scientia Agraria Paranaensis**, 2018.

Teixeira, B. D. R.; Evangelista, W. V.; Silva, J. D. C.; Della Lucia, R. M. Avaliação radial e longitudinal das propriedades mecânicas e da massa específica básica da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.). **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, 2011.

Trevisan, R.; Candaten, L.; Costa, H. W. D.; Bandera, E.; Mangini, T. de S.; Zanchetta, L. da S.; Eloy, E. Dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis* em diferentes estratos e posição radial. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 44, 2024.

Vidaurre, G. B.; Silva, J. G. M. Da.; Moulin, J. C.; Carneiro, A. De C. O. **Qualidade da madeira de eucalipto Proveniente de plantações no Brasil**. Editora Universitária – EDUFES, Vitória, ES, 2020.

MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE RACHADURAS EM CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS A TRÊS CONDIÇÕES DE SECAGEM

Diego Paiva Medeiros¹, Pedro Augusto Fonseca Lima¹, Mariana Pires Franco², Macksuel Fernandes da Silva¹, Carlos Roberto Sette Júnior¹, Matheus Peres Chagas¹

¹ Setor de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

² Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Brasil.

*Autor correspondente: pedrofons@gmail.com

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar a perda de umidade e incidência de rachaduras de topo em toras do clone VM01 (*E. urophylla* × *E. camaldulensis*) sob três condições de secagem natural: (1) céu aberto - inverno, (2) céu aberto - verão e (3) sombreado - verão. Foram analisadas 54 toras com 2,20 m de comprimento, distribuídas em três classes diamétricas (10 - 12 cm, 12 - 14 cm e 14 - 16 cm), com metade recebendo conectores metálicos do tipo Gang-Nail. A umidade foi monitorada com medidor elétrico, e as rachaduras quantificadas via imagens analisadas através do software Image Pro Plus. Os resultados mostraram que o tratamento sombreado apresentou menor incidência de rachaduras (apresentando diferença significativa) em comparação aos tratamentos a céu aberto, demonstrando ser o método mais eficaz para secagem natural do VM01 (*E. urophylla* × *E. camaldulensis*). Dessa forma, recomenda-se seu uso para minimizar defeitos durante o processo preservativo.

Palavras chave: CCA; Preservação de madeiras; Defeitos da madeira

CRACK MONITORING AND PREVENTION IN EUCALYPTUS CLONES UNDER THREE DRYING CONDITIONS

Abstract: This study aimed to evaluate moisture loss and the incidence of end cracks in logs from the VM01 clone (*E. urophylla* × *E. camaldulensis*) under three natural drying conditions: (1) open-air – winter, (2) open-air – summer, and (3) shaded – summer. A total of 54 logs, each 2.20 m long, were analyzed and distributed into three diameter classes (10–12 cm, 12–14 cm, and 14–16 cm), with half receiving Gang-Nail-type metal connectors. Moisture was monitored using an electric moisture meter, and cracks were quantified via images analyzed using Image Pro Plus software. The results showed that the shaded treatment had a significantly lower incidence of cracks compared to the open-air treatments, proving to be the most effective method for the natural drying of VM01 (*E. urophylla* × *E. camaldulensis*). Thus, its use is recommended to minimize defects during the preservative process.

Keywords: CCA; Wood preservation; Wood defects

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é vital para o setor florestal brasileiro, com 7,8 milhões de hectares cultivados em 2023 (IBÁ, 2024). Em Goiás, destaca-se o clone VM01 (híbrido de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*), usado na produção de madeira tratada devido à sua densidade (0,448 g cm⁻³ aos quatro anos de idade) e resistência à seca.

O tratamento preservativo exige secagem prévia (até 30% de umidade), que pode ser natural (econômica, mas com riscos de rachaduras) ou em estufa (controlada, porém onerosa). No processo

de secagem, a madeira de eucalipto é susceptível a defeitos como rachaduras de topo, que reduzem seu valor comercial (OLIVEIRA, 1981; JANKOWSKY, 2003).

Nesse contexto, o monitoramento e avaliação de defeitos durante a secagem, como as rachaduras, são etapas críticas na cadeia produtiva do eucalipto, pois influenciam diretamente sua qualidade final, durabilidade e viabilidade no tratamento preservativo. Lima et al. (2019) ao avaliarem a ocorrência de rachaduras na madeira de eucalipto para aplicação como mourões tratados, determinaram índices aceitáveis para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade, com diâmetro médio das toras de 11,84 cm, e 1,17% de rachaduras de topo.

O presente estudo teve como objetivo o monitoramento e avaliação da perda de umidade e de rachaduras de topo em toras de eucalipto, submetidas a três condições distintas de secagem natural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Goiânia/GO (clima Aw; 843 m de altitude), utilizando toras do híbrido *E. camaldulensis* × *E. urophylla* (clone VM01 - Urocam), com 7 anos, 2,20 m de comprimento e diâmetro variando entre 10 e 16 cm. As toras, obtidas em campo no município de Anápolis/GO (50 km de Goiânia), e transportadas à usina de tratamento preservativo no período aproximado de 48 horas, onde foram descascadas e metade delas receberam conectores metálicos do tipo Gang-Nail nas extremidades, visando o controle de rachaduras de topo (CARMO, 2012). A secagem natural foi monitorada no período entre julho e agosto (inverno; período seco) do ano de 2016 e entre março e abril (verão; período chuvoso) do ano 2017.

As toras foram classificadas em três categorias diamétricas (10-12 cm, 12-14 cm, 14-16 cm) e submetidas a três tratamentos: (1) céu aberto (período seco; 46 dias); (2) céu aberto (período chuvoso; 42 dias); e (3) sombreado (período chuvoso; 42 dias). Cada tratamento usou 18 toras (6 por categoria, metade com conectores do tipo Gang-Nail, totalizando 54 amostras. As toras foram posicionadas a 12 cm do solo, com aeração padronizada.

A umidade foi monitorada com medidor da marca Digisystem, modelo DL 822, seguindo protocolo padronizado: instalação de plug-ins a 15 cm da extremidade das toras, inserção de pinos paralelamente à grã (região central, evitando-se nós), seleção da escala 2 (para madeiras médias, 0,40-1,20 g/cm³) e leitura após 15 segundos.

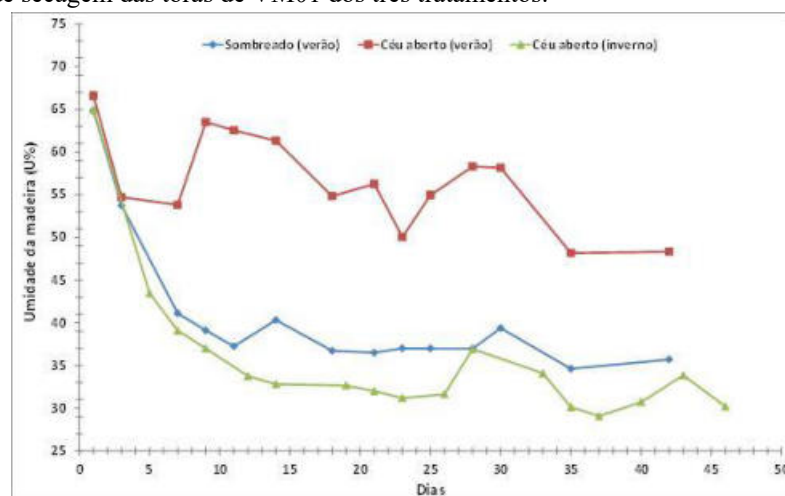
As medições de umidade foram realizadas a cada 48 horas (primeiros 30 dias) e 72 horas (dias 31-45), com calibração prévia do equipamento. Ao final de cada período, as rachaduras foram quantificadas através de análise digital de imagens: as extremidades das toras foram fotografadas (câmera digital; 8MP) e analisadas no software Image Pro Plus para cálculo da área comprometida (%) e contagem absoluta de rachaduras, utilizando padrão circular calibrado. A análise estatística foi feita no software SISVAR 5.6, com verificação de normalidade, ANOVA e teste de Tukey (5%) para avaliar os efeitos dos tratamentos, categorias de diâmetro e presença ou ausência de conectores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica da perda de umidade para os três tratamentos, considerando o efeito dos fatores climáticos em cada período avaliado é mostrado na Figura 1. Os tratamentos a céu aberto (inverno) e sombreado (verão) apresentaram padrões similares de secagem, enquanto o céu aberto (verão) mostrou oscilações significativas (Figura 1). No inverno, houve redução abrupta da umidade (65% para 35% em 12 dias) das toras, seguida de estabilização. O sombreado apresentou secagem gradual, estabilizando em aproximadamente 30% após 37 dias. Já o tratamento a céu aberto (verão) apresentou

flutuações, com umidade variando entre 65% e 45%, reflexo das chuvas frequentes da estação chuvosa.

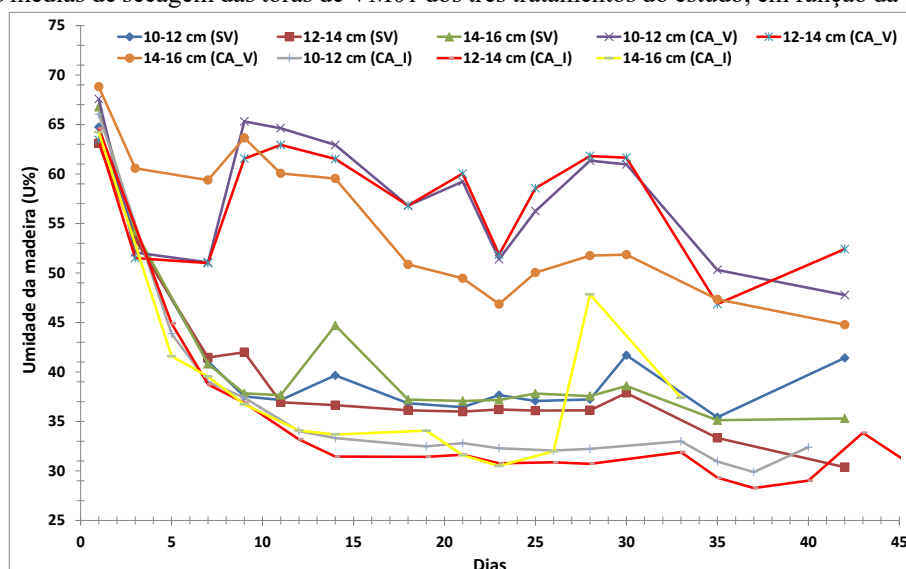
Figura 1. Curvas médias de secagem das toras de VM01 dos três tratamentos.



As condições climáticas explicam esses padrões: na região do estudo, o período seco (junho-setembro) com ventos fortes favoreceu a secagem uniforme, enquanto as chuvas de verão causaram absorção e perda cíclica de umidade. Essas oscilações, associadas ao gradiente de umidade entre extremidades (secas) e centro (úmido) da tora, são fatores-chave para o surgimento de rachaduras por tensão de tração abaixo do Ponto de Saturação de Fibras (PSF) (SIMPSON, 1991; MELO, 1999).

Analizando os tratamentos sem separação por classes de diâmetro, observa-se que, de modo geral, os comportamentos foram semelhantes. No entanto, para a classe de 14–16 cm, tanto no tratamento a céu aberto no inverno quanto no verão, o padrão foi diferente, com uma perda de umidade mais lenta nos primeiros dias, embora não tão expressiva (Figura 2).

Figura 2. Curvas médias de secagem das toras de VM01 dos três tratamentos do estudo, em função da classe de diâmetro.



O tratamento sombreado apresentou menor incidência de rachaduras (0,89%) em comparação aos tratamentos a céu aberto (verão: 2,00%; inverno: 2,02%), com diferença estatisticamente

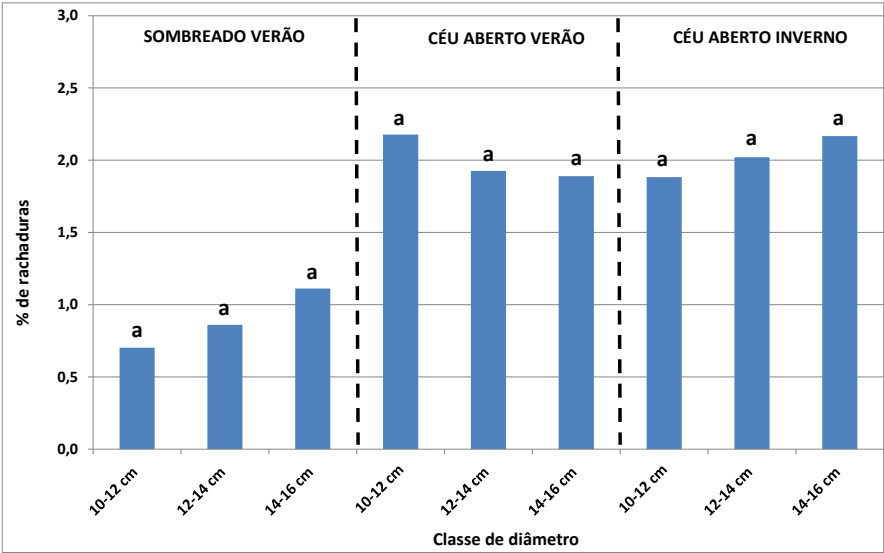
significativa (Tukey, $p < 0,05$). Visualmente, as rachaduras foram mais pronunciadas nos tratamentos a céu aberto, especialmente no verão, onde as oscilações de umidade contribuíram para a ocorrência desse tipo de defeito na madeira.

A exposição direta ao sol aumenta a temperatura da madeira, acelerando a evaporação e favorecendo rachaduras (CARMO, 2012). A fase inicial de secagem, onde a água livre é removida rapidamente (GOMIDE, 1974), requer controle para evitar defeitos (KLITZKE, 2007). Nos tratamentos sombreado e a céu aberto (inverno), observou-se que toras de maior diâmetro tendem a ter uma porcentagem maior de rachaduras (Tabela 1), no entanto, a análise estatística indicou que essa relação não foi significativa, independentemente do tratamento ou classe de diâmetro (Figura 3).

Tabela 1. Médias da área do topo, área ocupada pelas rachaduras, porcentagem e número de rachaduras por tora em função da condição de secagem (tratamento) e classe de diâmetro.

Tratamento	Classe de diâmetro	Área topo (cm ²)	Área rachaduras (cm ²)	% de rachaduras	nº de rachaduras por tora
Sombreado (verão)	10-12 cm	12,86379	87,32	0,70	0,8
	12-14 cm	37,39217	278,30	0,86	1,3
	14-16 cm	22,41092	256,26	1,11	1,0
Céu aberto (verão)	10-12 cm	12,96848	275,39	2,18	3,0
	12-14 cm	23,32472	445,97	1,93	2,3
	14-16 cm	25,63724	480,07	1,89	2,3
Céu aberto (inverno)	10-12 cm	10,45041	199,51	1,88	3,0
	12-14 cm	14,12399	301,13	2,02	2,7
	14-16 cm	22,01458	448,76	2,17	2,3

Figura 3. Médias de porcentagens de rachaduras nas toras de VM01 dos três tratamentos, por classe de diâmetro.



Médias seguida por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A Tabela 2 apresenta a relação entre conectores e rachaduras de topo nas toras de madeira. De modo geral, os conectores metálicos reduziram a incidência de rachaduras, exceto nas classes 14-16 cm em céu aberto (verão/inverno) e 10-12 cm (inverno), onde observou-se um ligeiro aumento (variações de 0,29 a 0,4%). No tratamento sombreado, os conectores foram eficazes apenas nas classes 10-12 cm e 14-16 cm. Já para o tratamento céu aberto (verão), o mesmo foi observado para a classe 10-12 cm, com efeito nulo nas demais, devido às oscilações de umidade e secagem acelerada.

Padrão similar ocorreu no inverno, com eficácia restrita à classe 10-14 cm, indicando que as condições climáticas - especialmente para toras de maior diâmetro - anularam a ação dos conectores.

Tabela 2. Média da área do topo, área ocupada pelas rachaduras, porcentagem e número de rachaduras por tora em função da condição de secagem (tratamento), classe de diâmetro e presença e ausência de conector.

Tratamento	Classe de diâmetro	Conector	Área topo (cm²)	Área rachadura (cm²)	% de rachaduras	nº de rachaduras por tora	nº de toras sem rachaduras
Sombreado (verão)	10-12 cm	NÃO	10614,05	121,39	1,10	1,3	0
		SIM	15113,53	53,26	0,30	0,3	2
	MÉDIA		12863,79	87,32	0,70	0,8	
	12-14 cm	NÃO	49057,33	335,66	0,84	1,0	0
		SIM	25727,00	220,94	0,88	1,7	0
	MÉDIA		37392,17	278,30	0,86	1,3	
	14-16 cm	NÃO	23189,38	440,58	1,91	1,3	0
		SIM	21632,46	71,93	0,32	0,7	1
	MÉDIA		22410,92	256,26	1,11	1,0	
	10-12 cm	NÃO	9480,68	284,94	2,98	3,0	0
		SIM	16456,27	265,84	1,38	3,0	0
	MÉDIA		12968,48	275,39	2,18	3,0	
Céu aberto (verão)	12-14 cm	NÃO	24650,06	468,93	1,93	2,0	0
		SIM	21999,39	423,00	1,92	2,7	0
	MÉDIA		23324,72	445,97	1,93	2,3	
	14-16 cm	NÃO	26045,51	439,73	1,69	2,3	0
		SIM	25228,98	520,41	2,09	2,3	0
	MÉDIA		25637,24	480,07	1,89	2,3	
	10-12 cm	NÃO	9327,15	194,42	2,05	2,0	0
		SIM	11573,68	204,61	1,72	4,0	0
	MÉDIA		10450,41	199,51	1,88	3,0	
	12-14 cm	NÃO	15496,80	381,12	2,48	3,3	0
		SIM	12751,18	221,13	1,56	2,0	1
	MÉDIA		14123,99	301,13	2,02	2,7	
Céu aberto (inverno)	14-16 cm	NÃO	18404,14	399,50	2,02	2,3	0
		SIM	25625,01	498,03	2,31	2,3	0
	MÉDIA		22014,58	448,76	2,17	2,3	

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que o tratamento sombreado, associado ao uso de conectores, é o método mais eficiente para secagem do clone VM01, minimizando rachaduras ao evitar exposição direta a intempéries. Já os tratamentos a céu aberto, especialmente para toras de maior diâmetro (14-16 cm), resultaram em maior incidência de defeitos, com eficácia limitada dos conectores. A secagem controlada sob sombra é crucial para preservar a qualidade da madeira, reduzindo perdas econômicas por desvalorização. Novos estudos com maior amostragem são sugeridos para avaliar otimizações no uso de conectores.

REFERÊNCIAS

CARMO, V. C. T. **Controle de secagem de toras de *Eucalyptus urophylla* voltada para preservação em autoclave**. 2012. 75 f. TCC (Especialização em Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2012.

GOMIDE, J. L. **Secagem da madeira**. Viçosa: J. L. Gomide, 1974, 76p.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores 2024. Disponível em: <<https://iba.org/relatorio2024.pdf>>. Acesso em: 02 de abril de 2025.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R.V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, s/v., n. 199, p. 1-14, 2003.

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. In: OLIVEIRA, V. T. da, S; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. (Org.). Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v.1, p. 271-366.

LIMA, P. A. F.; DEMARCHI, J.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; CALDAS, D. J.; SETTE JÚNIOR, C. R. Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, n.2, p. 509-519, 2019.

MELO, J. R. **Secagem de madeiras**: Teoria e prática de secagem artificial de madeiras. Lisboa: J. R. Melo, 1999, 38p.

OLIVEIRA, L. C. S. **Perguntas e respostas em secagem de madeira**. São Paulo: L. C.S. Oliveira, 1981, 36p.

SCANAVACA J. L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**. s/v., n. 63, p. 32-43, 2003.

SIMPSON, W. T. **Dry Kiln operator's manual**. Madison: W. T. Simpson, 1991. 274p.

VERMAAS, H. F. A review of drying technology for young fast-grown Eucalypts. In: THE FUTURE OF Eucalyptus FOR WOOD PRODUCTS, 2000, LAUNCESTON. Anais... LAUNCESTON. IUFRO, 2000, p. 193-203.

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO PARA APLICAÇÃO EM SERRARIA

Mariana Guimarães Alves¹; Pedro Augusto Fonseca Lima^{1*}; Macksuel Fernandes da Silva¹; Arthur Pedro Alves Fernandes¹; Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Gabriel Almeida Bastos¹; Mariana Dianese Alves de Moraes¹; Carlos Roberto Sette Júnior¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Goiás, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): pedroffons@gmail.com

Resumo: O estudo teve como objetivo a avaliação da qualidade da madeira de Mogno Africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), com foco em parâmetros como densidade, umidade de equilíbrio, retratibilidade, inchamento, proporção de cerne e alburno, e coeficiente de anisotropia. A pesquisa foi conduzida em plantações de 12 anos de idade em Ouro Verde de Goiás - GO. Os resultados indicaram que o teor de umidade de equilíbrio atingiu valores próximos a 12%, conforme exigido pela norma ABNT NBR 7190, garantindo resistência e rigidez adequadas. A densidade básica variou entre 468,76 e 504,13 g/cm³. A anisotropia dimensional mostrou valores acima do ideal (1), indicando instabilidade durante secagem ou absorção de umidade. A proporção de cerne variou de 61,1% a 67,7% enquanto o alburno e a casca apresentaram menores porcentagens. Concluiu-se que os parâmetros físico-anatômicos avaliados da madeira do Mogno Africano, aos 12 anos de idade, indicaram baixa qualidade para aproveitamento em serraria.

Palavras chave: Qualidade; Propriedades físicas; Desdobro.

QUALITY ASSESSMENT OF AFRICAN MAHOGANY WOOD FOR SAWMILL USE

Abstract: The study aimed to evaluate the quality of African Mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.) wood, focusing on parameters such as density, equilibrium moisture content, shrinkage, swelling, heartwood and sapwood proportion, and anisotropy coefficient. The research was conducted in 12-year-old plantations in Ouro Verde de Goiás, GO, Brazil. The results indicated that the equilibrium moisture content reached values close to 12%, as required by the ABNT NBR 7190 standard, ensuring adequate strength and stiffness. The basic density ranged between 468.76 and 504.13 g/cm³. Dimensional anisotropy showed values above the ideal (1), indicating instability during drying or moisture absorption. The heartwood proportion ranged from 61.1% to 67.7%, while the sapwood and bark had lower percentages. It was concluded that the evaluated physical-anatomical parameters of 12-year-old African Mahogany wood indicated low quality for sawmill utilization.

Keywords: Quality; Physical properties; Sawing.

1. INTRODUÇÃO

O Mogno Africano (gênero *Khaya*), nativo da África subsaariana, inclui espécies como *Khaya senegalensis*, *Khaya ivorensis* e *Khaya anthotheca*. Reconhecido por seu fuste retilíneo, resistência a pragas, trabalhabilidade e potencial sustentável, é valorizado no mercado de serraria por suas propriedades mecânicas e físicas excepcionais, como estabilidade dimensional, durabilidade e aspecto estético (ARÉVALO FUENTES, 2002). Sua cor avermelhada e textura fina o tornam ideal para móveis, construções e acabamentos internos (WARD *et al.*, 2008). No Brasil, a cultura é recente, com indivíduos de até 40 anos no Pará (RIBEIRO *et al.*, 2017).

Apesar do crescente interesse comercial pelo Mogno Africano no Brasil, especialmente pela sua aparência nobre e alta valorização no mercado (RIBEIRO *et al.*, 2017), ainda há lacunas quanto ao conhecimento técnico de suas propriedades físicas e comportamento durante o processamento. Nesse sentido, a avaliação das propriedades físico-mecânicas, é determinante para a definição do uso da madeira (LIMA *et al.*, 2019).

Além disso, o comportamento da madeira durante o processo de secagem influencia sua suscetibilidade a defeitos como rachaduras e empenamentos (JANKOWSKY, 2002). A análise da proporção entre cerne, alburno e casca também fornece informações importantes sobre o rendimento e o destino mais adequado do material (Lima *et al.*, 2019).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da madeira do Mogno Africano, analisando parâmetros como densidade, umidade de equilíbrio, retratibilidade, inchamento, proporção de cerne e alburno, e coeficiente de anisotropia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em plantações de Mogno Africano aos 12 anos de idade no município de Ouro Verde de Goiás, Goiás. Foram selecionadas cinco árvores com os maiores Diâmetros à Altura do Peito (DAP a 1,3 m do solo): 33 cm, 27,5 cm, 36,5 cm, 33 cm e 32,2 cm (árvores 1 a 5, respectivamente). Das árvores selecionadas foram cortadas toras de três partes do fuste: a primeira de 3 m e as demais de 1,5 m, com discos de madeira sendo retirados dos dois topos das toras (3 toras por árvore/6 discos de madeira por árvore).

Dos discos de madeira foram determinados a porcentagem de cerne, alburno e casca e na sequência cortadas amostras com dimensões de 2,0 cm (tangencial), 3,0 cm (radial) e 5,0 cm (longitudinal) na região próxima a casca para a determinação das propriedades físicas. As toras remanescentes foram desdobradas em blocos para o processo de secagem ao ar livre. A umidade da madeira foi monitorada durante 9 semanas no pátio de secagem. Seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997), amostras de madeira de cada tora foram obtidas semanalmente, pesadas em temperatura ambiente e, após 48 horas em estufa a 103°C, pesadas novamente. O teor de umidade foi calculado pela Equação 1:

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso em estufa}}{\text{Peso seco em estufa}} \times 100 \quad (1)$$

Além do método da estufa, utilizou-se um medidor elétrico Digisystem - DL 2020, que mede a umidade (6% a 60%) com base na condutividade elétrica, inserindo agulhas na madeira para leituras rápidas e precisas.

Para a densidade básica, as amostras foram saturadas em água, secas a 103°C até massa e volume constantes, de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003), e calculadas pela Equação 2:

$$\text{Densidade básica} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Volume saturado}} \quad (2)$$

O coeficiente de anisotropia foi calculado com base na Equação 3 (contração) e Equação 4 (inchamento):

$$\text{Anisotropia Dimensional de Contração (Ac)} = \frac{\beta_{\text{tangencial}}}{\beta_{\text{radial}}} \quad (3)$$

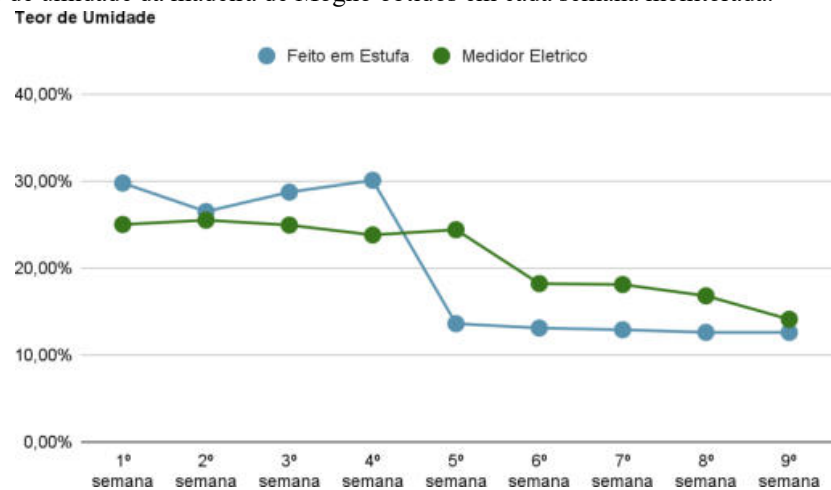
$$\text{Anisotropia Dimensional de Inchamento (Ai)} = \frac{\alpha_{\text{tangencial}}}{\alpha_{\text{radial}}} \quad (4)$$

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a avaliação da retração e inchamento da madeira é feita nas direções Tangencial (T), Longitudinal (L) e Radial (R). Os corpos de prova, também usados para densidade básica e coeficiente de anisotropia, foram saturados em água e secos em estufa. Para a contração foram analisados os seguintes parâmetros: $\beta T = [(Tsaturado - Tseco) / Tsaturado] * 100$; $\beta R = [Rsaturado - Rseco] / Rsaturado * 100$; e $\beta L = [Lsaturado - Lseco] / Lsaturado * 100$. Para os parâmetros para o inchamento, foram analisados: $\alpha T = [(Tsaturado - Tseco) / Tseco] * 100$; $\alpha R = [(Rsaturado - Rseco) / Rseco] * 100$; e $\alpha L = [(Lsaturado - Lseco) / Lseco] * 100$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições de secagem foram favoráveis, com rápida evolução (Figura 1), atingindo valores próximos aos 12% exigidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para madeira comercial, garantindo resistência e rigidez adequadas às condições ambientais. O controle da umidade em toras é crucial, pois níveis elevados causam defeitos como empenamentos e fendilhamentos. Os dados mostram que o teor de umidade obtido pelo método em estufa é mais alto que o medido pelo medidor elétrico até a 4ª semana. A partir da 5ª semana, os valores se aproximam, com ambos os métodos indicando uma tendência de queda na umidade.

Figura 1: Valores médios de umidade da madeira de Mogno obtidos em cada semana monitorada.



Os valores da densidade básica estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 2- Valores médios de densidade básica da madeira de Mogno Africano com 15 anos de idade.

ÁRVORE	MÉDIA DA DENSIDADE BÁSICA (kg/m³)
1	499,9
2	502,5
3	468,7
4	496,5
5	504,1
MÉDIA	494,34

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), madeiras mais leves tendem a ser menos resistentes e mais propensas a defeitos. No caso do Mogno Africano, para usos como decks, lambris e assoalhos, a baixa densidade torna-o inviável, com grande tendência a rachaduras, empenamentos e outros defeitos. A variação anisotropia dimensional de contração (Ac) e anisotropia dimensional de

inchamento (A_i), está descrita na Tabela 03. Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), o fator ideal de anisotropia é 1, indicando que não há alterações dimensionais, com mudanças equivalentes nos sentidos anatômicos. Para a madeira, um aumento no desvio entre as variações tangencial e radial eleva o fator de anisotropia, piorando seu comportamento durante secagem ou absorção de umidade, o que reduz a estabilidade e integridade do material.

Tabela 3- Valores médios da variação anisotropia dimensional de contração (A_c) e anisotropia dimensional de inchamento (A_i) da madeira de Mogno Africano com 15 anos de idade

Amostra	MÉDIA DE A_c	MÉDIA DE A_i
1	2.844	3.085
2	2.033	2.119
3	2.285	2.453
4	2.751	2.979
5	2.063	2.156
MÉDIA	2.395	2.558

As porcentagens de cerne e alborno variam ao longo do fuste, dependendo da idade e espécie da árvore (GONÇALVES *et al.*, 2010). Geralmente, árvores mais velhas possuem maior quantidade de cerne, o que aumenta o interesse econômico, já que o cerne influencia diretamente no rendimento da madeira. A proporção de cerne, alborno e casca por tora está apresentada na Tabela 04. Observa-se que a maior parte da madeira é composta por cerne, com média de 64,7%, seguido pelo alborno (31,5%) e pela casca (3,7%). Do ponto de vista tecnológico, o maior ou menor percentual de cerne ou alborno na madeira auxilia na definição do uso nos produtos finais. Por exemplo, madeiras com maior quantidade de cerne podem ser mais desejáveis para produção de móveis e para a construção civil (LIMA *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, a maior quantidade de alborno (mais permeável), resultará em melhor capacidade de impregnação por produtos preservativos na indústria de madeira tratada (HASELEIN *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013).

Tabela 4- Valores médios da porcentagem de Cerne, Alborno e Casca da madeira de Mogno Africano com 15 anos de idade

Amostra	Casca	Alborno	Cerne
1	4,2%	33,1%	62,7%
2	4,1%	34,8%	61,1%
3	3,6%	28,8%	67,7%
4	2,5%	32,0%	65,5%
5	4,6%	30,7%	64,7%
MÉDIA	3,7%	31,5%	64,7%

A avaliação de inchamento e retração (Tabela 05 e Tabela 06) é crucial para entender a estabilidade dimensional da madeira. A maior variação ocorre no sentido transversal ao tronco, sendo mais acentuada na direção tangencial do que na radial (SOUSA JÚNIOR, 2004). Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com esse padrão: o inchamento tangencial (ϵ_i , tg) apresentou os maiores valores entre 8,20% e 13,49%, enquanto o radial (ϵ_i , rd) variou de 3,92% a 4,95%. O inchamento longitudinal (ϵ_r , lg), foi menos expressivo, com variação de 0,21% a 2,47% (Tabela 05).

Tabela 5: Valores médios da variação de inchamento de toras de Mogno Africano com 15 anos de idade.

Inchamento (%)

Amostra	ϵ_i , tg	ϵ_i , rd	ϵ_r , lg
1	13,488	4,555	0,627
2	8,203	3,919	0,247
3	12,356	4,945	2,465
4	12,341	4,220	0,929
5	8,879	4,219	0,212
MÉDIA	11,053	4,484	0,896

A retratibilidade (Tabela 06) refere-se à movimentação da madeira em resposta à absorção (inchamento) ou perda (retração) de água, ocorrendo quando o nível de umidade está abaixo do ponto de saturação de fibras do material (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004). A retração tangencial (ϵ_i , tg) apresentou valores entre 7,58% e 11,84%, enquanto a retração radial (ϵ_i , rd) variou de 3,77% a 4,71%. A direção longitudinal (ϵ_r , lg) demonstrou a menor variação (0,21% a 2,38%) (Tabela 06). Os resultados mostram que os índices nas direções tangencial e radial apresentam discrepância significativamente maior que 1, parâmetro ideal que indica maior qualidade da madeira e menor variação dimensional (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

Tabela 06: Valores médios da variação anisotropia dimensional de contração (Ac) e anisotropia dimensional de inchamento (Ai) de toras de Mogno Africano com 15 anos de idade

Retração (%)			
Amostra	ϵ_i , tg	ϵ_i , rd	ϵ_r , lg
1	11.844	4.340	0.622
2	7.575	3.770	0.247
3	10.904	4.707	2.378
4	10.949	4.047	0.919
5	8.148	4.041	0.211
MÉDIA	9.884	4.181	2.378

4. CONCLUSÃO

A madeira de Mogno Africano aos 12 anos de idade apresentou baixa qualidade para serraria, principalmente devido à sua densidade relativamente baixa e elevada anisotropia, que comprometem a estabilidade dimensional. No entanto, vale ressaltar que seu uso tem crescido na indústria de madeira sólida devido ao valor estético, facilidade de trabalhabilidade, boa resposta à secagem e aceitação no mercado.

REFERÊNCIAS

- ARÉVALO FUENTES, R. L. **Influence des composantes secondaires et de la structure anatomique sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'acajou** (*Swietenia macrophylla* king). 2002. 167f. Tese (Ph.D - Sciences du bois et de la forêt) – Université Laval, Quebec, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7190: Projeto de estrutura de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; FILHO, M. T. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Árvore*, v. 34, n. 5, p. 947-959, 2010.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

JANKOWSKY, I. P. Defeitos na Secagem de Madeiras. Disponível em:

https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/defeitos_na_secagem_de_madeiras.aspx?. Acesso em: 11 jul 2025.

LIMA, P. A. F.; DEMARCHI, J.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; CALDAS, D. J.; SETTE JÚNIOR, C. R. Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p. 509-519, 2019.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 217-225, 2013.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, s/n., e00076814, 2017.

SCANAVACA JUNIOR, L; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientias Forestalis**, s/v., n. 65, p. 120-129, 2004.

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e Paraopeba (MG)**. 2004. 74f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade de Viçosa, Viçosa, 2004.

WARD, S.E.; BOSHIER, D.; GROGAN, J. Sustainable management of high-value timber species of the Meliaceae. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.2, p. 265-364, 2008.

INTERAÇÕES ENTRE AMBIENTES DE CRESCIMENTO E A QUALIDADE DA MADEIRA

CONICIDADE E EXCENRICIDADE DA MEDULA EM MADEIRA DE PINUS

Laura da Silva Rocha¹; Dalton Longue Júnior²; José Pedro Britos Santos^{3*}; Rafaella Dias Ramos⁴; Anna Júlia Leite de Oliveira⁵; Natália Santos Pereira⁶

¹⁻³⁻⁵⁻⁶ Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

² Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

⁴ Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): jps.santos132@gmail.com

Resumo: A avaliação do deslocamento da medula da madeira é uma importante informação para estudos de qualidade da madeira, principalmente no setor de serrarias. O coeficiente de conicidade é um fator, que descreve o tipo de caule que cada espécie florestal desenvolve, o que depende da própria espécie, da idade e das condições do local. O objetivo deste estudo foi avaliar a conicidade e a ocorrência de excentricidade de medula das árvores de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivadas na região do Sudoeste da Bahia. Seis árvores com 13 anos de idade foram amostradas em três alturas do tronco (base, meio e topo). Os diâmetros dos discos e a distância do centro geométrico e a medula foram medidos com o auxílio do paquímetro digital. Os resultados indicaram que as espécies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* apresentaram valores sem diferenças significativas para conicidade, sendo de 38,8 e 41,1%, respectivamente, bem como para excentricidade de medula. Entretanto, ambas espécies apresentaram conicidade e excentricidade que podem interferir em processos de desdobramentos de madeiras em serrarias.

Palavras chave: Centro geométrico; Lenho de compressão; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus oocarpa*

EVALUATION OF PITH CONICITY AND ECCENTRICITY IN PINE WOOD

Abstract: The evaluation of wood pith displacement is an important information for wood quality studies, especially in the sawmill sector. The taper coefficient is a factor that describes the type of stem each forest species develops, which depends on the species itself, its age, and the site conditions. The objective of this study was to evaluate the conicity and occurrence of pith eccentricity of *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* trees grown in the Southwest region of Bahia. Six 13-year-old trees were sampled at three heights of the trunk (base, middle and top). The diameters of the discs and the distance between the geometric center and the pith were measured using a digital caliper. The results indicated that the *P. caribaea* var. *hondurensis* and *P. oocarpa* species presented values without significant differences for conicity, being 38.8 and 41.1%, respectively. And pith eccentricity, both between species and between the different positions of the trunk. However, both species presented conicity and eccentricity that can interfere in wood unfolding processes in sawmills.

Keywords: Geometric center; Compression wood; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus oocarpa*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, tanto a indústria madeireira quanto a indústria de celulose e papel, se utilizam em grande escala de toras de árvores do gênero *Pinus* (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Em função do de seus cultivos, a madeira apresenta propriedades tecnológicas distintas, isto é, com um elevado

grau de variabilidade. Essa variação é parte resultante da interação entre o crescimento e variáveis diversas, entre estas, o clima, o solo e a disponibilidade de água e nutrientes (GONÇALEZ, 2009).

O coeficiente de conicidade é um fator importante, que descreve o tipo de caule que cada espécie florestal desenvolve, o que depende da própria espécie, da idade e as condições do local (EFTHIMIOU, 2012). É um fator essencial que permite dar estrutura e estabilidade de suporte às árvores e um meio para avaliação da dinâmica e desenvolvimento da altura (SCHNEIDER *et al.*, 2016).

A medula é um tecido primário na forma de um cilindro parenquimático central, macio, encontrado nos caules, ramos e raízes das árvores. Sua função é de armazenar substâncias nutritivas, sendo que nas plantas jovens, a medula participa também na condução ascendente de líquidos (FERREIRA *et al.*, 2008). A excentricidade da medula é o deslocamento sofrido pela medula do centro geométrico da tora. Pode ser avaliada pela distância de sua posição ao centro geométrico em relação ao diâmetro médio da tora (FERREIRA *et al.*, 2008).

O incremento de madeira nas árvores inclinadas quando ocorre de forma anormal, é denominada como madeira de reação, e em espécies de coníferas, este lenho é designado como madeira de compressão. A madeira de compressão em toras, geralmente, é indicada pela formação de anéis de crescimento excêntricos, que parecem conter uma proporção maior de lenho tardio na região de crescimento rápido (VIDAURRE *et al.*, 2013). De acordo com Tomazelo Filho (1987), a madeira de *Pinus oocarpa* com 11 anos de idade, apresentou 15% menos traqueídeos no lenho de compressão que no lenho normal, largura do traqueídeo 8% menor, diâmetro do lúmen 15% menor e a espessura da parede celular 14% maior que o lenho normal.

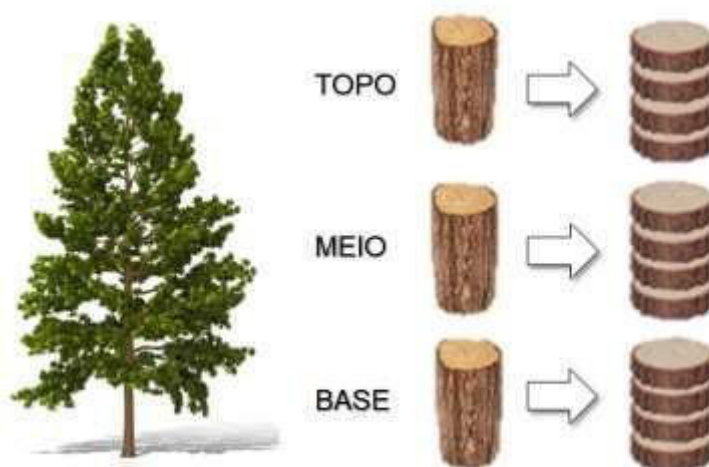
Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a conicidade e a ocorrência de excentricidade de medula das árvores de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivadas na região Sudoeste da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Seis árvores foram coletadas, sendo três da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e três da espécie *Pinus oocarpa*. O plantio experimental com 13 anos de idade e espaçamento de 3 m x 3 m estava localizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista.

Das árvores foram confeccionados três discos de madeira com 6 cm de espessura, de três diferentes alturas das árvores: base (0%), meio (50%) e topo (100%). O fuste comercial de referência para este trabalho foi de 8 cm, e por isso o fuste comercial foi de aproximadamente 9 m (Figura 1).

Figura 1: Representação do sistema de amostragem utilizado para fracionamento do fuste.



Os diâmetros dos discos e a distância do centro geométrico e a medula foram medidos com auxílio de um paquímetro digital de 300 mm (marca King Tools). A conicidade foi calculada a partir da Equação 1.

$$C = \frac{(D_B - D_T)}{D_B} \times 100 \quad (1)$$

Em que: C: conicidade do tronco (%); D_B : diâmetro da base (mm); D_T : diâmetro do topo (mm).

A excentricidade da medula foi calculada pelo procedimento proposto por Boschetti *et al.* (2015) e Lima *et al.* (2007), conforme Equação 2. Foram obtidos os raios de cada disco nas posições 0, 50 e 100%, pela utilização de duas marcações ao longo da extensão diametral, ao coincidir pela medula.

$$EXM = \frac{L_c}{D_m} \times 100 \quad (2)$$

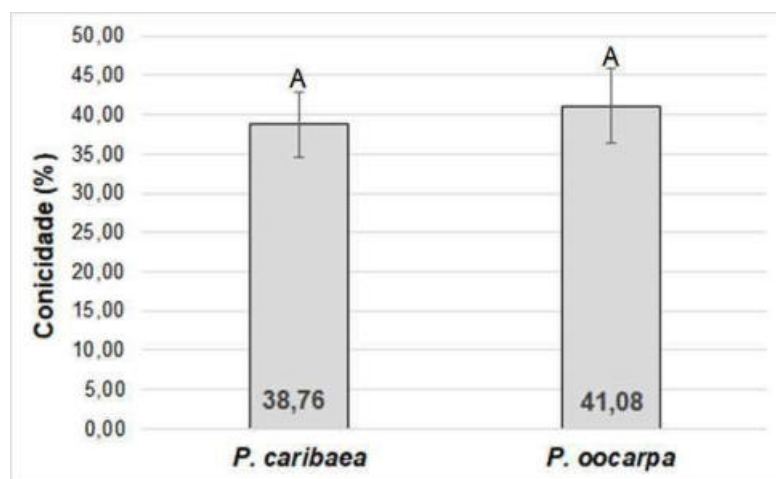
Em que: EXM: excentricidade da medula (%); L_c : distância entre o centro geométrico do disco e a localização da medula (mm); D_m : diâmetro médio do disco (mm).

As análises estatísticas foram realizadas com o software Past 4.02. Os dados de conicidade e excentricidade de medula foram submetidos a análises de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homogeneidade pelo teste de Levene's. As interações foram analisadas e nos casos de interação significativa a 5% de significância, os fatores foram estudados em conjunto. Foi realizado teste t a 5% de significância para avaliar a conicidade entre as espécies e Tukey a 5% de significância para a excentricidade da medula (fatores "posição do tronco" e "espécie").

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As porcentagens de conicidade presentes nos fustes das espécies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* foram, respectivamente, 38,8 e 41,1%, mostrando que a segunda espécie teve maior valor, porém, sem diferença significativa, conforme Figura 2.

Figura 2: Conicidade (%) do fuste das madeiras de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

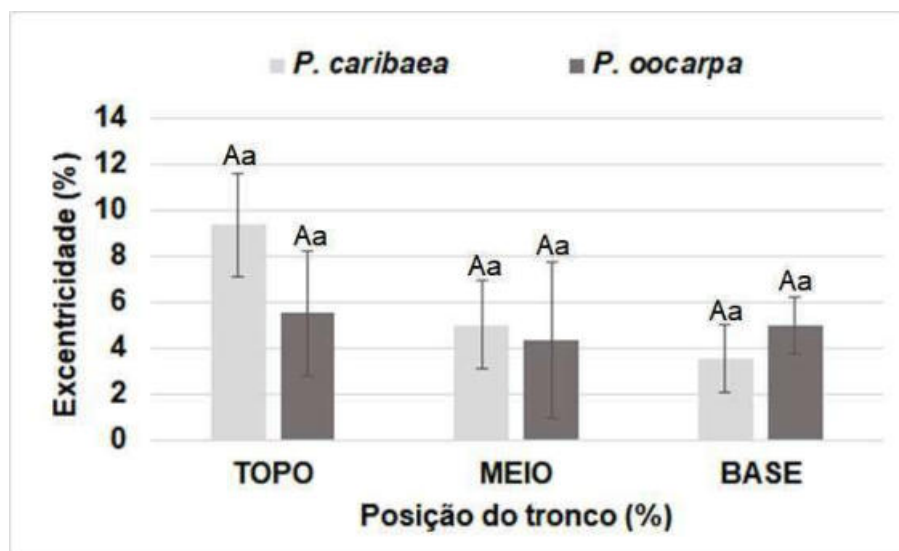


Média de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste T ($P > 0,05$).

Segundo Nigoski (2016), a conicidade pode ser afetada por diversos fatores do indivíduo, entre eles, a idade da árvore (13 anos) e o espaçamento do plantio (3 x 3 m), dentro outras condições. A conicidade da madeira pode influenciar diretamente no seu rendimento após o desdobro, obtendo um decréscimo significativo com altos valores de conicidade. Uma tora com conicidade menor ou igual a 3% é enquadrada nas classes superior e 1, ao passo que outra com conicidade menor ou igual a 4% é enquadrada na classe 2. Toras com conicidade maior são enquadradas nas classes 3 e 4 (pior) (BRASIL, 1984). Além disso, as madeiras provenientes de árvores com alta conicidade tendem a ter menor resistência mecânica, devido às fibras terem mais disposição a ficarem mais separadas, causando assim uma menor aderência do material (MEDEIROS *et al.*, 2023). Com isso, analisando somente esse fator de conicidade, as madeiras avaliadas foram consideradas impróprias para fins de construção, por exemplo, devido os elevados valores encontrados.

A Figura 3 relaciona a excentricidade de medula com as posições ao longo do fuste das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. A análise estatística demonstrou que não existe diferença significativa entre as espécies e posições ao longo do fuste. Para o *Pinus caribaea*, as médias foram diferentes de acordo com a posição do tronco avaliada, porém, devido a sua alta variação, não houve diferença significativa.

Figura 3: Excentricidade (%) em diferentes posições do tronco (Topo, Meio e Base) para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.



Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si para “posição no tronco”, e médias seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem entre si para “espécie” pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

A excentricidade pode ser afetada pela ação de ventos no plantio (CIRILO, 2023), e possivelmente esse fator explica os maiores valores de excentricidade na posição do topo de ambas as espécies, levando em conta que tal posição recebe vento constante, formando lenho de reação.

De forma natural, a medula deve estar localizada no centro geométrico do fuste, porém, fatores externos e até mesmo internos da árvore podem causar excentricidade. Esse defeito no fuste, pode resultar em formatos atípicos do tronco, como o tronco em forma de elipse, sendo responsáveis por dificuldades no desdobramento da madeira, como empenamentos, fendas entre os anéis de crescimento e as tabuas provenientes desse tronco terão a sua estrutura desigual (MEDEIROS *et al.*, 2023). Com isso, a utilização dessas madeiras estudadas para fins de construções, também estariam comprometidas pelo fator de excentricidade.

4. CONCLUSÃO

As espécies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* apresentaram valores sem diferenças significativas, tanto para conicidade e excentricidade. Entretanto, ambas espécies estudadas apresentaram valores que podem interferir em suas propriedades mecânicas, podendo influenciar em possíveis desdobramentos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Norma para Medição e Classificação de Toras de Madeiras de Folhosas. Brasília: MA/IBDF/DIC, 1984. 84 p.
- BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B. ARANTES, M. D. C.; LEITE, F. P. Parâmetros dendrométricos e excentricidade da medula em árvores inclinadas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 781-789, 2015.
- CIRILO, N. R. M. **Impacto do manejo da talhadia e alto fuste na qualidade da madeira de eucalipto**. 2023. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2023.
- EFTHIMIOU, G. The slenderness of the softwood Riparian forest species *Salix alba* L. and *Salix fragilis* L. in the protected area of Nestos Delta, Greece. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, v.1, n. 4, p. 1-7, 2012.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Revista Cerne**, v. 14, n. 4, p. 355-340, 2008.
- GONÇALEZ, J. C.; VIEIRA, F. S.; CAMARGOS, J. A. A.; ZERBINI, N. J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influencia do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 170-177, 2007.
- MEDEIROS, L. E. **Avaliação dos diferentes tipos de defeitos que ocorrem na madeira**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2023.
- MULLER, B. V. **Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de Eucalyptus benthamii Maiden et Cabbage**. 2013. 120f. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2013.
- NISGOSKI, S. **Anatomia da Madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2016.
- OLIVEIRA, F. L.; LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista Inst. Florestal**, v. 18, n. único, p. 59-70, 2006.
- SCHNEIDER, P. S. P.; LONGHI, S. J.; SCHNEIDER, P. R.; MEYER, E. A.; MENDES, J. O. Use of the slenderness index in the stand density management diagram of *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 425-434, 2016.
- TOMAZELLO FILHO, M. Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa*: estrutura anatômica e quantificação. **Boletim técnico IPEF**, n. 37 p. 61-68, 1987.
- VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L. FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 26-37, 2013.

ANÁLISE MACROSCÓPICA DO LENHO DE *Pinus oocarpa* E *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Laura da Silva Rocha^{1*}; Dalton Longue Júnior²; Anna Júlia Leite de Oliveira³; José Pedro Brito Santos⁴; Rafaella Dias Ramos⁵; João Vitor Morais da Silva⁶

¹⁻³⁻⁴ Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

² Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

⁵⁻⁶ Programa de Pós-Graduação Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): lauraengflorestal@gmail.com

Resumo: A variabilidade dos anéis de crescimento influencia nas características físico-químicas, que para o uso da madeira, pode significar diferentes usos do produto final. Este estudo analisou macroscopicamente os anéis de crescimento ao longo do fuste das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* cultivadas na região Sudoeste da Bahia. Seis árvores com 13 anos de idade foram amostradas em três alturas do tronco (base, meio e topo). Foram realizadas medições dos raios e dos anéis de crescimento dos discos. Os resultados mostraram que os anéis de crescimento do *P. caribaea* apresentaram uma tendência de aumento da base para o topo, enquanto a espécie *P. oocarpa* manteve uma uniformidade ao longo do tronco. A espessura dos anéis foi maior na medula e menor na casca para ambas as espécies, sendo mais pronunciada na base. As diferenças no padrão de crescimento e na estrutura da madeira entre as espécies podem impactar sua aplicação industrial, influenciando propriedades como densidade e resistências mecânicas.

Palavras chave: Anéis de crescimento; *Pinus caribaea*; *Pinus oocarpa*; Posição do tronco

MACROSCOPIC ANALYSIS OF PINE WOOD

Abstract: The variability of growth rings influences the physical and chemical characteristics, which, in terms of wood usage, can mean different applications for the final product. This study analyzed macroscopically the growth rings along the trunk of the *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus oocarpa* species cultivated in the Southwest region of Bahia. Six trees (13-year-old) were sampled at three heights of the trunk (base, middle and top). The rays and growth rings of the discs were measured. The results showed that the growth rings of *P. caribaea* tended to increase from the base to the top, while the species *P. oocarpa* maintained uniformity along the trunk. The thickness of the rings was greater in the pith and smaller in the bark for both species, being more pronounced at the base. The differences in the growth pattern and wood structure between species can impact their industrial application, influencing properties such as density and mechanical resistance.

Keywords: Growth rings; *Pinus caribaea*; *Pinus oocarpa*; Trunk position.

1. INTRODUÇÃO

Em 2023, a área total dedicada ao plantio de árvores no Brasil ultrapassou, pela primeira vez, os 10 milhões de hectares, um crescimento de 3% em comparação ao ano anterior (IBÁ, 2024). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (2024), as áreas produtivas cultivadas de florestas desempenham um papel crucial na economia brasileira, representando uma fonte sustentável de recursos naturais e materiais, por fornecerem matéria-prima para diversas indústrias, além de desempenhar um papel importante na mitigação de mudanças climáticas, contribuindo para a captura de carbono da atmosfera.

Com relação aos plantios de *Pinus*, segunda mais importante cultura arbórea no Brasil, estes

estão concentrados na região Sul, representando 89% do total dos plantios desta região. Santa Catarina é o principal estado produtor, enquanto somente uma pequena parcela está distribuída nos demais estados ao longo do país (IBÁ, 2024).

Seguindo esta tendência, no estado da Bahia os cultivos florestais ocupam uma área de 667 mil hectares, sendo 98% representado por eucalipto e 2% por seringueira e outras espécies, e os poucos plantios de *Pinus* não aparecem nos anuários do setor da Bahia (ABAF, 2023). Entretanto, na região Sudoeste da Bahia, as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* tem sido fonte de diversos estudos em plantios em áreas de pesquisa (LIMA *et al.*, 2016; GOMES *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2017; ARAGÃO *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2013).

Uma das características marcantes do gênero *Pinus* são seus anéis de crescimento evidentes, que tem como origem a atividade sazonal do câmbio vascular resultando em sucessivas deposições de camadas de lenho no fuste (GONÇALEZ *et al.*, 2018). Estes anéis de crescimento representam uma maneira de estudar as características que afetam o crescimento de uma árvore. A variabilidade dos anéis de crescimento influência nas características físico-químicas, que para o uso da madeira, pode significar diferentes usos do produto final (RALL, 2006).

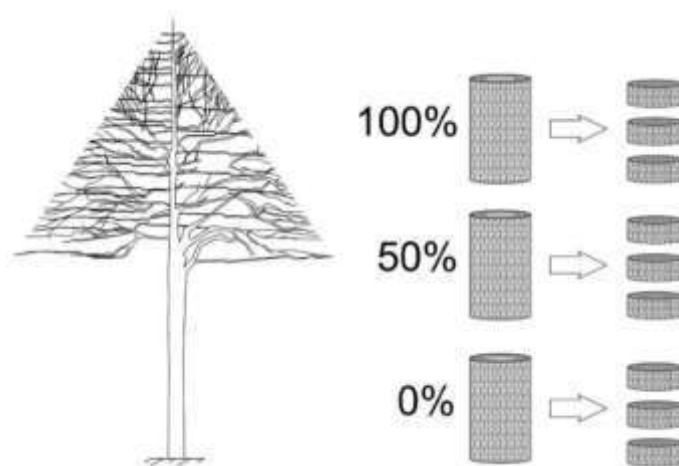
Dessa forma, o objeto deste trabalho foi analisar macroscopicamente, ao longo do fuste (base-topo) as madeiras de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivadas na região sudoeste da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas seis árvores, sendo três da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e três da espécie *Pinus oocarpa*, colhidas em um plantio florestal experimental, com 13 anos de idade e espaçamento de 3 m x 3 m, localizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista, Bahia, cujas coordenadas geográficas são 14°53'S e 40°48'W.

Foram retirados três discos de 5 – 7 cm de espessura de três diferentes alturas das árvores: base (0%), meio (50%) e topo (100%), tendo como referência o fuste comercial de aproximadamente 9 m (diâmetro mínimo 8 cm), conforme Figura 1.

Figura 1: Representação do sistema de amostragem utilizado para fracionamento do fuste.



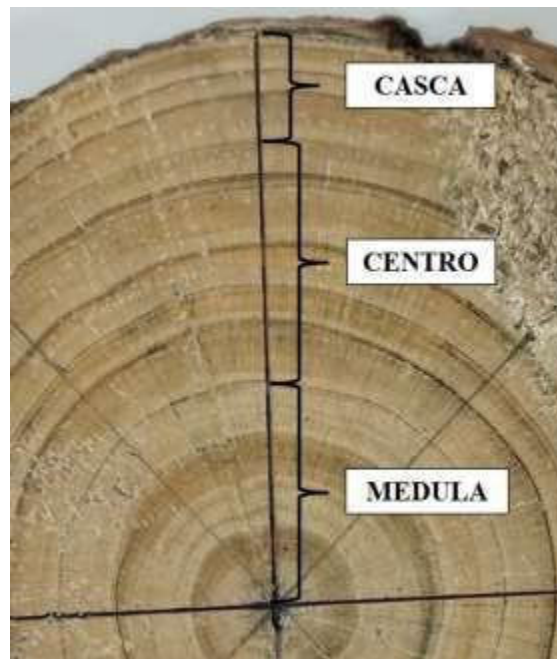
Foi utilizado um paquímetro digital de 300 mm (marca King Tools), para medir os anéis de crescimento. Para avaliação dos anéis de crescimento, foi seguida a metodologia proposta por Barusso (1977) que consiste em marcar quatro raios em 90° entre si, sendo que após escolhido o maior raio a partir do anel mais externo, e girar 45° no sentido anti-horário, houve a marcação de mais quatro raios (Figura 2). Dessa forma, a medição dos anéis de crescimento foi realizada em cima dos raios marcados, totalizando 8 medições por disco.

Figura 2: Medições dos raios realizadas nos discos de *Pinus caribaea* var *hondorensis* e *Pinus oocarpa*.



Os anéis de crescimento foram divididos em três grupos: casca (anéis de crescimento estreitos de 0 a 2,5 mm), centro (anéis de crescimento intermediários de 2,6 mm a 7,0 mm) e medula (anéis de crescimento maiores de 7,1 mm a 15,0 mm), conforme a Figura 3, metodologia desenvolvida por Gonzalez *et al.* (2018).

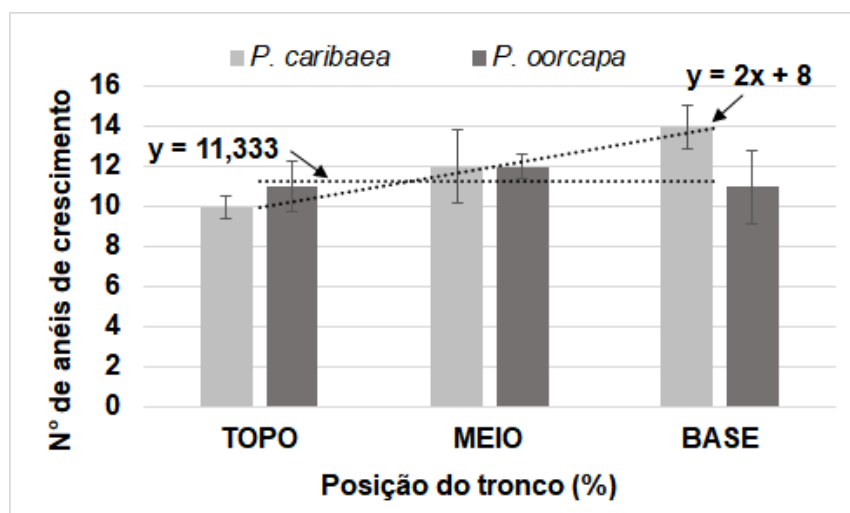
Figura 3: Grupos de amostragem com intervalos de larguras de anéis de crescimento



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de anéis de crescimento anuais por centímetro é um preditor da taxa de crescimento de uma árvore (MAYARD *et al.*, 2022). A Figura 4 mostra a relação entre o número de anéis de crescimento e a posição do tronco de *P. caribaea* e *P. oocarpa*, onde possui uma variação ao longo do tronco, com uma tendência crescente da base para o topo.

Figura 4: Número de anéis de crescimento ao longo do fuste para as espécies de *Pinus caribaea* var *hondorensis* e *Pinus oocarpa*.



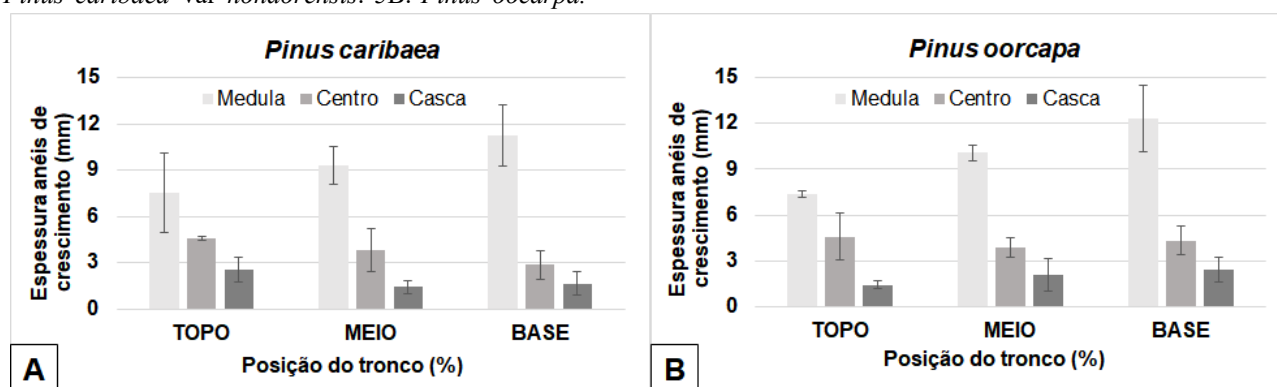
Normalmente, o número de anéis de crescimento está relacionado com a qualidade da madeira formada (jovem ou adulta), sendo mais estreitos na madeira jovem, na região próxima ao câmbio. A taxa mais rápida de crescimento da planta acelera a formação de madeira adulta, que influencia positivamente nas propriedades mecânicas (MELO *et al.*, 2010).

Para a madeira *P. caribaea*, a relação da equação obtida indica um aumento crescente na quantidade de anéis à medida que se desloca do topo para a base, tendo uma variação na deposição do crescimento ao longo do tronco, possivelmente influenciada por fatores ambientais ou fisiológicos.

Por outro lado, a madeira *P. oocarpa* apresenta um valor constante do número de anéis de crescimento ao longo do tronco, indicando um padrão de crescimento mais uniforme (11 anéis em cada disco em todas as posições).

Os anéis de crescimento na região da casca foram mais estreitos e tenderam a aumentar em espessura na região central do tronco (medula), para as duas espécies de *Pinus* (Figura 5). Isso ocorre devido os anéis da região da casca estarem em amplo crescimento pela atividade cambial, enquanto os anéis da região da medula se alargam pelo crescimento secundário da parede celular (MARIA, 2002).

Figura 5: Espessura de anéis de crescimento ao longo do fuste nas regiões de medula, centro e casca do disco. 5A. *Pinus caribaea* var *hondurensis*. 5B. *Pinus oocarpa*.



Em ambas as espécies, a espessura dos anéis tendeu a ser maior na base do tronco e menor no topo, principalmente na medula. A madeira de *P. oocarpa* apresentou maior espessura de anéis de crescimento na medula nas três posições quando comparado ao *P. caribaea*. Por outro lado, a espessura dos anéis no centro e na casca apresentaram um comportamento parecido para as duas espécies.

4. CONCLUSÃO

A madeira de *P. oocarpa* apresentou uma tendência de formação de madeira mais uniforme no sentido base-topo, quando comparada a madeira da espécie *P. caribaea*, em termos de formação de anéis de crescimento.

A espessura dos anéis varia fortemente de acordo com a posição da madeira (base x topo), indicando importante item para seleção de madeira para uso industrial (uniformidade).

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, M. A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; LEITE, M. V. S.; CARVALHO, F. F.; VIRGENS, A. P. Identity test of volumetric models for *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in mixed stand in southwest Bahia. **Revista Brasil Biomass**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 621-632, 2016.

ASSOCIAÇÃO BAIANA DAS EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. **Bahia Florestal 2023. Dados Setoriais. Ano base 2022**. Salvador, 2023. 16 p.

BARUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise do tronco**. 1977. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Federal do Paraná, 1977.

CARVALHO, F. F.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; ARAGÃO, M. A.; VIRGENS, A. P. Litterfall

and Litter Decomposition in *Pinus* and Native Forests. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, 2017.

GOMES, V. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; NOVAES, A. B.; SCORIZA, R. N.; NASCIMENTO, M. S.; OLIVEIRA, M. F. Biomass and nutrientes removal in purê and mixed populations of *Pinus* sp. in southwest Bahia – Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 3, p. 571-578, 2019.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, N.; SILVA JUNIOR, F. G.; SOUZA, R. S.; DE PAULA, M. H. Growth ring width of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and its relationship with wood proprieties. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 118, p. 309-317, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual. Ano base 2023**. 2024. 99 p. LIMA, M. C. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SANQUETTA, C. R.; NOVAES, A. B.; MELO, L. C. Biomass and carbon stock from *Pinus caribaea* var. *hondurensis* under homogenous stands is Southwest Bahia, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 6, p. 957-962, 2016.

MARIA, V. R. B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduais**. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, 2002.

MAYARD, R.; SEGUNDINHO, P. G. A.; SANTOS, L. L.; GONÇALVES, F. G.; SILVA, J. G. M. Influência dos anéis de crescimento nas propriedades mecânicas da madeira de *Pinus*. **Madera y Bosques**, v. 28, n. 3, 2022.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 379-386, 2013.

MELO, R.R.; STRANGERLIN, D. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Plano de desenvolvimento de florestas plantadas – PNDF**. Brasil, 2024. 24 p.

RALL, R. **Influência das características dos anéis de crescimento na densidade, resistência e rigidez da madeira de *Pinus taeda* L.** 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, 2006.

ESTUDO DA CASCA DA MADEIRA DE PINUS CULTIVADA NO SUDOESTE DA BAHIA

Laura da Silva Rocha^{1*}; Dalton Longue Júnior²; Rafaella Dias Ramos³; José Pedro Britos Santos⁴; Anna Júlia Leite de Oliveira⁵

¹⁻⁴⁻⁵ Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

² Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

³ Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): lauraengflorestal@gmail.com

Resumo: A variação da espessura de casca ocorre a depender de condições edafoclimáticas e genéticas, bem como de acordo com as características dos plantios. O objetivo deste estudo foi analisar macroscopicamente ao longo do fuste a casca da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Foram amostradas seis árvores com 13 anos de idade em três alturas do tronco (base, meio e topo), cultivados na região do Sudoeste da Bahia. Foram realizadas medições do diâmetro sem casca, diâmetro com casca e espessura de casca. Os resultados indicaram que o diâmetro das árvores diminuiu da base para o topo. A espessura da casca também variou ao longo do tronco, sendo maior na base, com maior variação nas árvores de *P. caribaea*. Foi possível estimar a espessura de casca das espécies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* através de equações, em que a espessura de casca mostrou alta correlação entre os valores medidos e estimados, sendo as equações individuais por espécie mais precisas que a equação comum.

Palavras chave: Espessura de casca; Estimativa; *Pinus caribaea*; *Pinus oocarpa*

STUDY OF THE BARK OF PINE WOOD CULTIVATED IN THE SOUTHWEST OF BAHIA

Abstract: The variation in the bark thickness occurs as function of the soil and climate conditions, as well as the characteristics of the plantations. The objective of this study was to macroscopically analyze the bark of *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* along the trunk. Six 13-year-old trees were sampled at three heights of the trunk (base, middle and top), grown in the Southwest region of Bahia. Diameter measurements without bark, diameter with bark and bark thickness were taken. The results indicated that the diameter of the trees decreased from the base to the top. The thickness of the bark also varied along the trunk, being greater at the base, with greater variation in the *P. caribaea* trees. It was possible to estimate the bark thickness of the species *P. caribaea* var. *hondurensis* and *P. oocarpa* through equations, in which the bark thickness showed a high correlation between the measured and estimated values, with the individual equations for each species being more accurate than the common equation.

Keywords: Bark thickness; Estimation; *Pinus caribaea*; *Pinus oocarpa*.

1. INTRODUÇÃO

A introdução de diferentes espécies tornou o plantio de *Pinus* viável em todo Brasil, constituindo uma importante fonte de madeira para diversos fins, como para indústria de celulose, lâminas e chapas de madeira, madeira serrada, compensados, energia, entre outros (MELO *et al.*, 2013). De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024), a área plantada chegou a 10 milhões de hectares de árvores cultivadas, sendo destes 1,92 milhão de hectares de *Pinus*, onde aproximadamente 89% dos plantios de *Pinus* ocorrem na região Sul do país. Somente uma pequena parcela está distribuída nos demais estados do país.

A casca da árvore é definida como todos os tecidos existentes externos ao câmbio vascular, e é necessária para o transporte de fotoassimilados, armazenamento de nutrientes e água, suporte, estruturação e proteção dos tecidos internos dos caules contra danos mecânicos (ROMERO, 2014). A espessura da casca é uma das características mais associadas à proteção cambial, e quanto maior essa espessura ocorre a diminuição da probabilidade de danos induzidos pelo fogo ao câmbio vascular e ao alburno (LAWES *et al.*, 2013).

Schreuder *et al.*, (1993), relata que a espessura da casca varia de acordo com a espécie, a constituição genética, as condições edafoclimáticas, a idade, o tamanho, a taxa de crescimento e a posição ao longo do tronco, decrescendo mais ou menos regularmente da base para o topo da árvore. A casca também pode ser usada como adubação após a colheita. Estudo realizado com *Pinus taeda* apontou que ao remover somente a madeira do tronco e manter a casca sobre o solo pode-se reduzir consideravelmente o impacto nutricional da colheita, principalmente devido ao seu alto teor de cálcio, representante cerca de 84,3% do estoque total (ROSA *et al.*, 2023)

Dessa forma, o objeto deste trabalho foi analisar macroscopicamente, ao longo do fuste (base-topo) a casca da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivadas na região Sudoeste da Bahia.

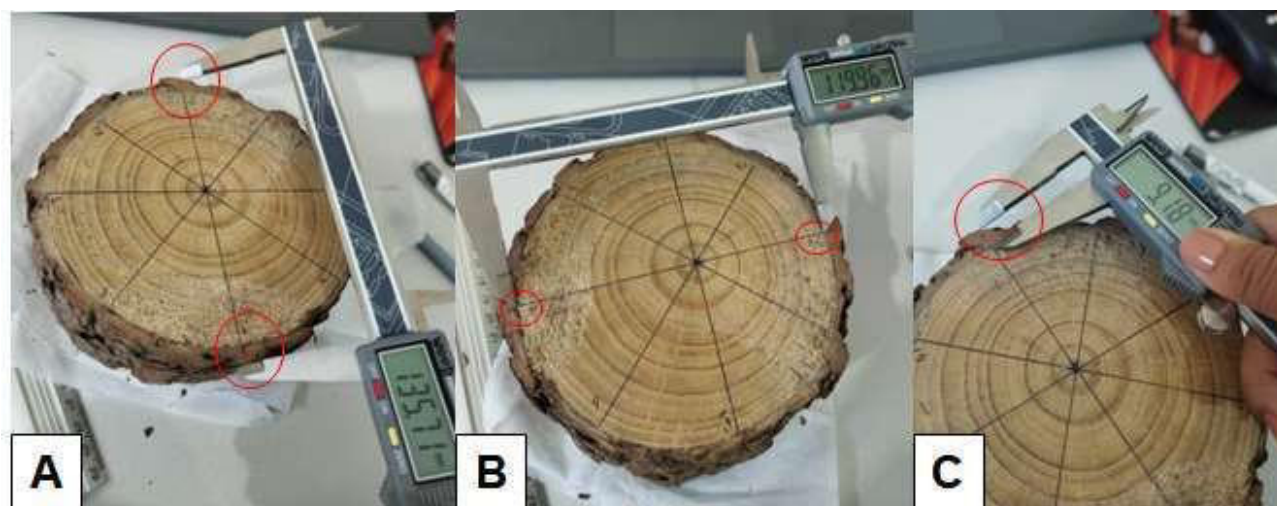
2. MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação foi feita em seis árvores, sendo três da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e três da espécie *Pinus oocarpa*, colhidas em um plantio florestal experimental na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista, Bahia., com 13 anos de idade e espaçamento de 3 m x 3 m.

Tendo como referência o fuste comercial de aproximadamente 9 m (diâmetro mínimo 8 cm), foram retirados em três diferentes alturas da árvore (base, meio e topo, sendo 0, 50 e 100%, respectivamente) três discos de 5 – 7 cm de espessura.

Foi utilizado um paquímetro digital de 300 mm (marca King Tools) para mensurar o diâmetro com e sem casca (Figura 1A e 1B) e a espessura de casca (Figura 1C)

Figura 2: Medições dendrométricas realizadas nos discos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. 2A. Medição do diâmetro com casca. 2B Medição do diâmetro sem casca. 2C. Medição da espessura de casca.

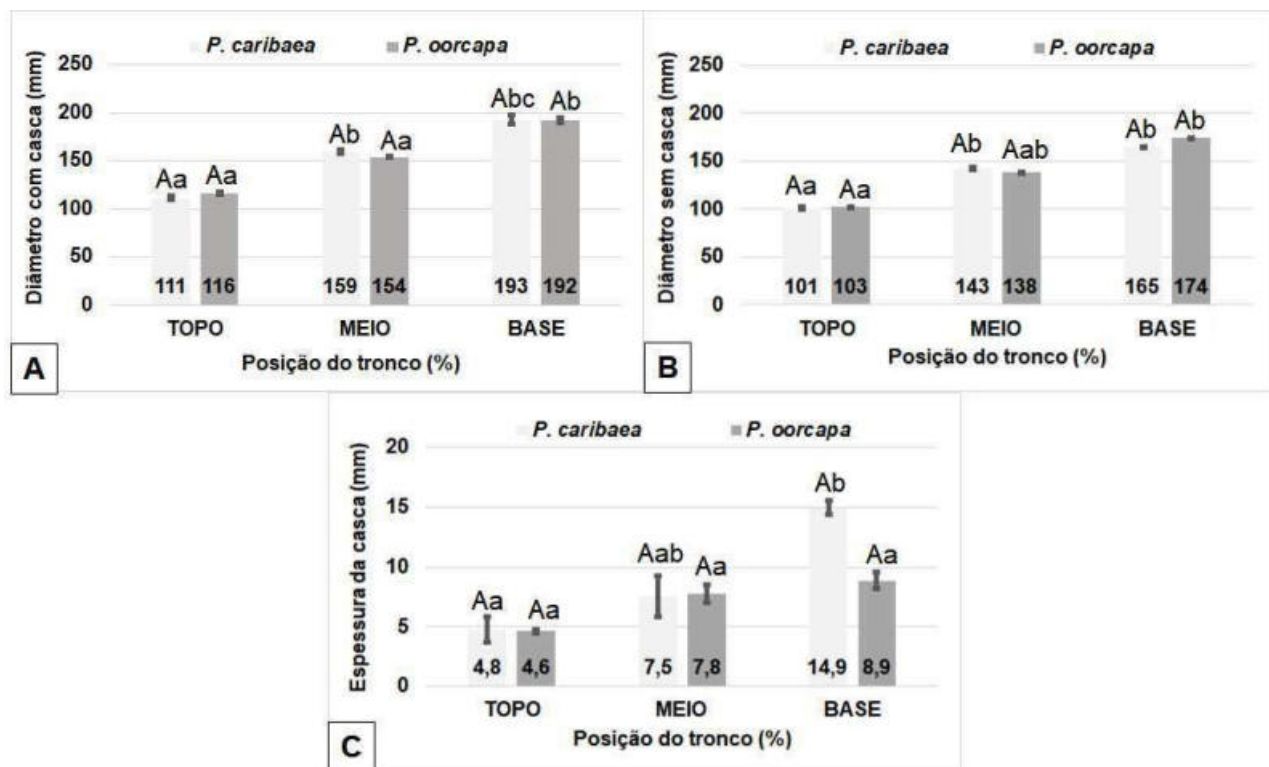


As análises estatísticas foram realizadas com o software Past 4.02. Os dados diâmetro com casca, diâmetro sem casca e espessura de casca foram submetidos a análises de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homogeneidade pelo teste de Levene's. As interações foram analisadas e nos casos de interação significativa a 5% de significância, os fatores foram estudados em conjunto (espécie x posição base-topo). Foi realizado teste Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variações do diâmetro com casca, diâmetro sem casca e espessura de casca em diferentes posições do tronco para as espécies de *Pinus caribaea* var *hondorensis* e *Pinus oocarpa* podem ser verificados na Figura 2.

Figura 2: Parâmetros dendrométricos avaliados no *Pinus caribaea* var *hondorensis* e *Pinus oocarpa* ao longo do fuste. 2A. Diâmetro com casca. 2B Diâmetro sem casca. 2C. Espessura de casca.



Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si para “posição no tronco”, e médias seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem entre si para “espécie” pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

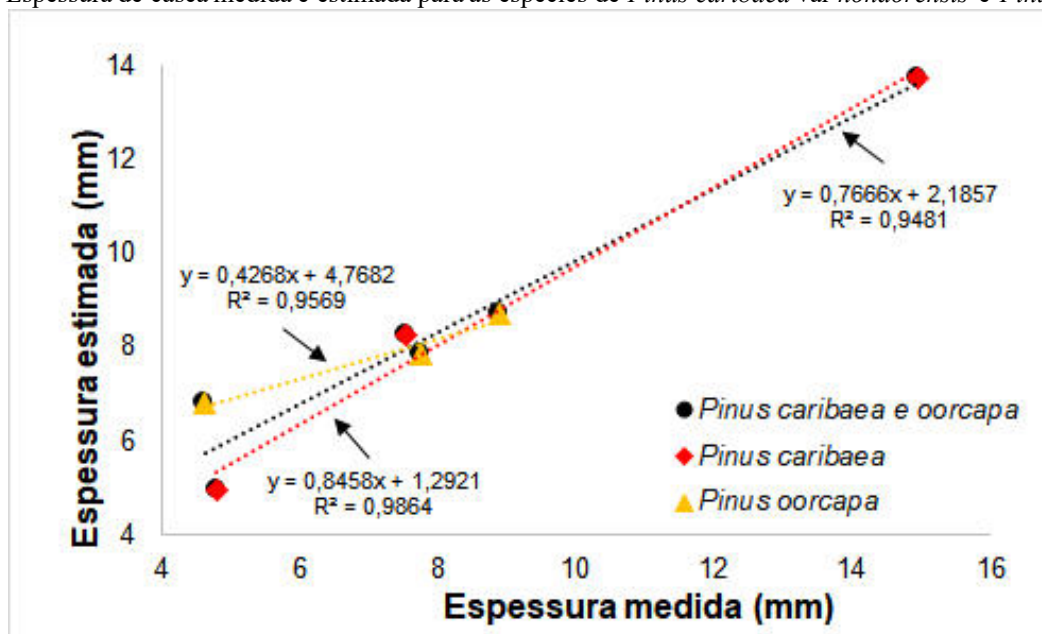
A análise estatística indicou que houve interação significativa entre os fatores, e que, em ambas espécies, o diâmetro do fuste aumentou da base para o topo (Figura 2A e 2B), devido ao afunilamento natural do tronco das árvores. Dentre as posições estudadas (base-topo) houve diferenças significativas entre as espécies. Por outro lado, entre as espécies estudadas em cada posição, não houve diferenças estatísticas.

As propriedades da casca como a textura, densidade e o teor de água podem influenciar a capacidade de isolamento, tendo a espessura supostamente a correlação mais importante como barreira física ao fogo e mortalidade (GRAVES *et al.*, 2014).

A espessura de casca tende a aumentar da base para o topo, mas com maior variação na base. Isso ocorre porque a casca desempenha um papel importante na proteção do câmbio vascular, podendo se desenvolver mais onde há necessidade de suporte mecânico e proteção contra agentes externos (ROMERO, 2013; LAWES *et al.*, 2013). A Figura 2C mostrou um maior teor de casca na posição da base do *P. caribaea*, porém sem diferença significativa do *P. oocarpa* na mesma posição. A espessura de casca da base se mostrou diferente do topo apenas na espécie *P. caribaea*, enquanto no *P. oocarpa* não teve influência dessa espessura de acordo a posição do tronco.

A espessura de casca medida e estimada para as espécies avaliadas está representada na Figura 3. Além da equação para as espécies de forma conjunta, também foram avaliadas de forma separadas. A relação matemática entre a espessura medida e estimada foi linear de primeiro grau e positiva para ambas espécies, tanto de forma individual (por espécie), quanto de forma conjunta.

Figura 3: Espessura de casca medida e estimada para as espécies de *Pinus caribaea* var *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.



Os coeficientes angulares das equações indicaram o quanto a espessura estimada cresceu em função da medida real, sendo o valor de R^2 para o *P. caribaea* de 0,986 e para o *P. oocarpa* de 0,957, indicando um alto grau de correlação entre os valores medidos e estimados. O R^2 para as duas espécies foi de 0,945, e foi inferior das equações individuais, apesar de ser também considerado elevado.

Dessa forma, os modelos de regressões propostos se mostraram eficazes na estimativa da espessura da casca, e é preferível que a estimativa seja realizada para cada espécie individualmente do que de forma conjunta, em termos de precisão.

4. CONCLUSÃO

As espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* apresentaram padrões semelhantes de variação do diâmetro ao longo do tronco. Ambas espécies demonstraram maior espessura de casca na base e a equação da espessura da casca demonstrou um alto grau de correlação entre os valores medidos e estimados. No entanto, as equações individuais apresentaram melhor desempenho em comparação a equação em conjunto.

REFERÊNCIAS

GRAVES, S. J.; RIFAI, S. W.; PUTZ, F. E. Outer bark thickness decreases more with height on stems of fire-resistant than fire-sensitive Floridian oaks (*Quercus* spp.; Fagaceae). **American journal of botany**, v. 101, n. 12, p. 2183-2188, 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual. Ano base 2023. 2024.** 99 p.

LAWES, M. J.; MIDGLEY, J. J.; CLARKE, P. J. Costs and benefits of relative bark thickness in relation to fire damage: a savana/forest contrast. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 2, p. 517-524, 2013.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 379-386, 2013.

ROMERO, C. **Bark: Structure and Functional Ecology**. New York: Advances in Economic Botany. 2014, 5-25p.

ROSA, K. P.; LOPES, V. G.; RODRIGUES, A. L. M. B.; DICK, G.; ALVES, T. A. F.; SCHUMACHER, M. V. Estoque de nitrogênio e cálcio na madeira e casca do tronco em povoamento de *Pinus taeda* L. Congresso de Plantações Florestais, Série Técnica IPEF, v. 26, n. 48, 2023.

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. **Sampling methods for multiresourse forest inventory**. New York: John Wiley & Sons. 1993, 472p.

DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES NATIVAS DO MATO GROSSO

Maria Eduarda Aguillar Coelho^{1*}; Leticia Seles de Carvalho¹; Ana Stephany de Oliveira Lelis¹; Vinicius Correa Franco²; Bárbara Luísa Corradi Pereira²; Aylson Costa Oliveira².

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

² Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Maria Eduarda Aguillar Coelho (e-mail): dudaaguillar@gmail.com

Resumo: A densidade da madeira é uma importante característica a ser determinada, pois irá embasar no seu uso final, além de influenciar nas propriedades físicas e mecânicas. O objetivo deste estudo foi determinar a densidade básica da madeira de quatro espécies nativas do Mato Grosso. Em uma área localizada no município de Rosário Oeste, Mato Grosso, Brasil, foram selecionadas quatro espécies nativas: Angico (*Anadenanthera columbrina* (Vell) Brenan), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex. DC) Mattos). Dessas espécies, coletou-se discos na região da base, retirando amostras para determinação da densidade básica. A Aroeira, o Angico e o Ipê-roxo obtiveram as maiores densidades, iguais a 1,071; 0,873, e 0,797 g.cm⁻³, respectivamente, e foram classificadas como madeiras de densidade alta. Já o Jatobá, apresentou densidade básica média de 0,6873 g.cm⁻³ e foi classificada como madeira de densidade média. Conclui-se que a densidade básica varia entre as espécies nativas do Mato Grosso avaliadas.

Palavras-chave: Classes de densidade; Espécies nativas e Madeira.

BASIC DENSITY OF WOOD FROM FOUR NATIVE SPECIES OF MATO GROSSO

Abstract: Density is an important characteristic to be determined, as it supports the final use of the wood and influences its physical and mechanical properties. The objective of this study was to determine the basic density of the wood from four native species of Mato Grosso. In an area located in the municipality of Rosário Oeste, Mato Grosso, Brazil, four native species were selected: Angico (*Anadenanthera columbrina* (Vell) Brenan), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), and Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex. DC) Mattos). Discs were collected from the base region of these species, and samples were taken for basic density determination. Aroeira, Angico, and Ipê-roxo had the highest densities, 1.071; 0.873, and 0.797 g.cm⁻³, respectively, and were classified as high-density woods. On the other hand, Jatobá presented an average basic density of 0.6873 g.cm⁻³ and was classified as a medium-density wood. It is concluded that the basic density varies among the native species of Mato Grosso evaluated.

Keywords: Density classes; Native species and Wood.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil possui uma área total de 903.208,361km² (IBGE, 2022). Inserido na Amazônia Legal brasileira, Mato Grosso abriga três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal. Segundo o MapBiomas Brasil (2025), a Amazônia ocupa 511 mil km², cerca de 53% de abrangência do estado; o Cerrado ocupa 337 mil km², cerca de 39% e o Pantanal tem uma área de ocupação de 53 mil km², aproximadamente 7%. Essa diversidade biológica e geográfica transforma o estado em um vasto mosaico de paisagens e características distintas (CHIOVETO, 2014).

Conforme Medeiros (2011), o Cerrado abriga mais de 11 mil espécies vegetais, das quais 4.400 são endêmicas, e a típica vegetação do Cerrado se caracteriza pelos troncos tortuosos, baixo porte, ramos

retorcidos, cascas espessas e folhas grossas. Árvores como o Angico (*Anadenanthera columbrina* (Vell) Brenan), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex. DC.) Mattos) fazem parte da biodiversidade do Cerrado mato-grossense.

Tanto para a conservação quanto para a utilização adequada das espécies, é necessário o conhecimento sobre as características da madeira, como parâmetros colorimétricos, densidade e anatomia. Um dos principais fatores determinantes para esse conhecimento, é a densidade básica, por se relacionar com as maiorias das utilizações tecnológicas da madeira, além de possuir influência significativa na resistência mecânica (SILVA *et al.*, 2023).

A densidade básica, que consiste na quantidade de massa lenhosa em determinado volume, é resultante da interação entre características anatômicas e propriedades químicas da madeira (PANSKIN; DE ZEEUW, 1980), sendo uma propriedade frequentemente estudada. Ela é influenciada pela organização e tipos de células presentes na madeira, são dependentes das mudanças na proporção dos vasos, da espessura das paredes celulares e das fibras (SILVA *et al.*, 2023). Logo, é uma característica influenciada pela espécie assim com o ambiente de crescimento da árvore e a interação desses fatores.

De acordo com Oliveira (2012), as madeiras apresentam altas densidades quando submetidas a condições ambientais desfavoráveis ao crescimento das espécies florestais, como ambientes com deficiência hídrica, baixas temperaturas e solos de baixa fertilidade, devido à redução da atividade fisiológica e cambial das plantas. Todavia, madeiras que apresentam baixas densidades estão associadas a ambientes favoráveis ao crescimento com disponibilidade e boa distribuição hídrica, temperaturas mais elevadas e solos mais férteis e de boa qualidade. Vale ressaltar, que nessas condições, o ambiente seria o fator de influência. Contudo, espécies que já possuem a classificação como madeiras de densidade alta ou baixa, possui relação com as características químicas e anatômicas da espécie.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar a densidade básica da madeira de quatro espécies nativas do Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

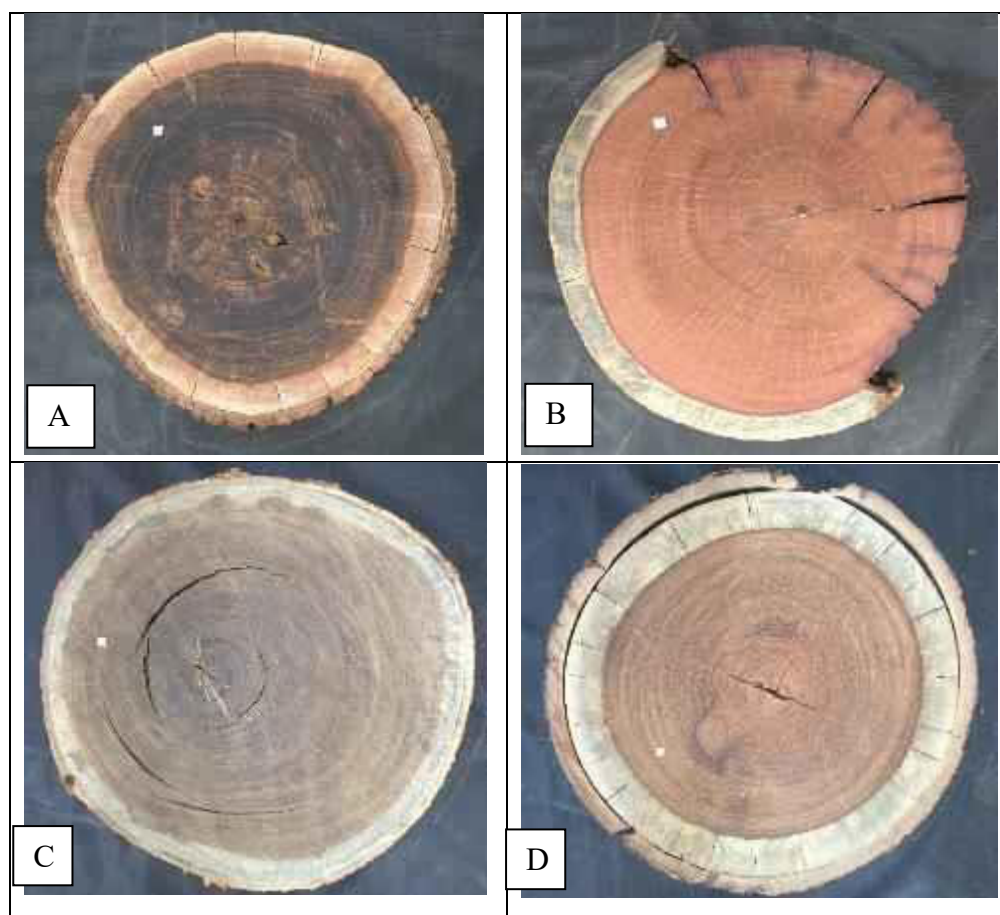
2.1. Área de estudo

A área de estudo em que foram selecionadas as espécies e coletados os discos de madeira está localizada na Fazenda Barranco Vermelho, com uma área de aproximadamente 10.000 m², situada no município de Rosário Oeste – MT, (longitude de 54°49' 54.228" O e latitude de 14°15' 17.352" S), a 482 metros de altitude. A formação florestal original do local é savânica (Cerrado), que de acordo com Bastos e Ferreira (2012), corresponde ao Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Veredas. Suas formações florestais englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo.

2.2. Espécies selecionadas

Foram avaliadas quatro espécies arbóreas nativas, que caíram naturalmente, sendo uma árvore de cada espécie. As espécies selecionadas foram: Angico (*Anadenanthera columbrina* (Vell) Brenan), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex. DC.) Mattos). De cada espécie, retiraram-se duas amostras com espessura de 5 centímetros de altura da região da base.

Figura 1. Discos de madeira das espécies coletadas: A (Angico), B (Aroeira), C (Ipê-roxo) e D (Jatobá).



2.3. Metodologia

Os discos foram cortados em “T”, com largura de aproximadamente 2 centímetros (cm). Uma parte foi cortada no sentido tangencial em um ângulo de 180°, levando em consideração a medula e outra parte foi cortada no sentido radial, em um ângulo de 90° e estendia da medula até a casca.

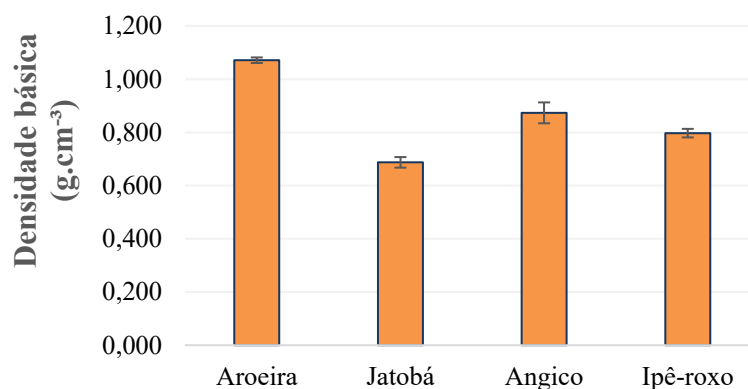
Após isso, as madeiras foram cortadas novamente para análises macroscópicas a serem realizadas e determinação da densidade básica, com dimensão de 2x2 e 2x5, respectivamente. Para cada espécie foram retiradas três amostras para mensuração de densidade.

Em seguida, elas foram imersas por aproximadamente dois meses em água para que saturassem. Passados os dois meses, as amostras foram pesadas em uma balança analítica com o auxílio de uma estrutura para segurá-las, de modo que ficassem imersas na água, após isso, as amostras foram colocadas em estufa a 100°C para secar. Depois de secas, foram pesadas novamente, a fim de obter o peso da massa seca para calcular-se a relação entre a massa seca e o volume. Por fim, foi calculada a densidade básica e o desvio padrão de cada uma das espécies, conforme a norma NBR 11941 (2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os valores médios de densidade básica, a espécie com maior médio foi a Aroeira com valor médio igual 1,071 g.cm⁻³, o Angico apresentou densidade de 0,873 g.cm⁻³, o Ipê-roxo teve densidade de 0,797 g.cm⁻³ e a espécie com menor valor foi o Jatobá com 0,687 g.cm⁻³. Além disso, verifica-se baixa variação (desvio padrão) dos resultados, indicando que as mensurações foram homogêneas e tiveram pouca variação na densidade.

Figura 2. Densidade média (g.cm⁻³) da madeira de quatro espécies de ocorrência no Mato Grosso, Brasil



Paula e Costa (2011), verificaram que o valor da densidade básica média para o Jatobá foi de $0,85 \text{ g.cm}^{-3}$ e a do Ipê-roxo seria de $0,89 \text{ g.cm}^{-3}$. Carvalho (2003), constatou que a média das densidades básicas do Angico e da Aroeira foram de $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,88 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente. Os valores obtidos neste trabalho tiveram pequenas discrepâncias com relação aos valores encontrados na literatura. Essas diferenças podem ter sido influenciadas por fatores como genéticos, ambientais, idade de corte, entre outros.

Os valores encontrados indicam que as madeiras de Aroeira, Angico e Ipê-roxo são classificadas como madeiras de alta densidade, pois apresentam valores superiores a $0,730 \text{ g.cm}^{-3}$. Já o Jatobá, foi classificado como madeira de densidade média, visto que seu valor está entre $0,550$ e $0,720 \text{ g.cm}^{-3}$ (SILVA *et al.*, 2015).

Para explicar as diferenças verificadas na densidade, serão realizadas análises anatômicas, macro e microscópicas.

4. CONCLUSÃO

As densidades básicas das quatro madeiras nativas do Mato Grosso diferem entre si, com valores variando de $0,687 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,071 \text{ g.cm}^{-3}$.

Conclui-se que as madeiras de Aroeira, Angico e Ipê-roxo possuem alta densidade, já a madeira de Jatobá possui densidade média.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira – UFMT, pela disposição da pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Federal de Mato Grosso pelo recurso concedido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 11941. **Madeira: determinação da densidade básica**. ABNT, 2003.

BASTOS, L. A.; FERREIRA, I. M. Composições fitofisionômicas do bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista, Catalão**, v. 12, n. 1, 2012. DOI: 10.5216/er.v12i1.17656.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CHIOVETO, M. O. T. **Desenvolvimento rural no Mato Grosso e seus biomas**. PR, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): **XII censo demográfico, brasileiro 2022**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 mar. 2025.

MapBiomass. "Coverage statistics by biomes, states and municipalities - MapBiomass Brasil Collection 9". MapBiomass Data, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/VEJDZC>. Acesso em: 27 mar. 2025.

MEDEIROS, J. de D. **Guia de campo: Vegetação do Cerrado 500 espécies**. 1 ed. Brasília – DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011. 532 p. (Série Biodiversidade, 43).

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M. de; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F.; NETO, A. J. da S.; OLIVEIRA, A. D. de. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 345-352, abr./jun. 2012.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

PAULA, J. E. de; COSTA, K. P. **Densidade da madeira de 932 espécies nativas do Brasil**. Porto Alegre – RS: Cinco Continentes, 2011.

SILVA, C. J. da; VALE, A. T. do; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira: Colombo**, v. 35, n. 82, p. 63-75, abr./jun. 2015.

SILVA, J. V. M da.; JESUS, C. C de.; VALLE, M. L. A. Anatomia macroscópica e densidade básica da madeira de espécies florestais utilizadas por moradores do Trecho Una - Olivença, Bahia. **Revista Agrotropica**, v. 35, n. 2, p. 135-142, 2023. DOI: 10.217570103-3816-2023v35n2-3p135-142

EFEITO DE AMBIENTES CONTRASTANTES NA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES NÃO COMERCIAIS DE *Eucalyptus*

Paulo Fernando Trugilho^{1*}; Jonas Zefanias Massuque²; Maria Fernanda Martins Vilas Boas¹; Ana Luiza de Jesus Dias¹; Vanuzia Rodrigues Fernandes Ferreira¹; José Reinado Moreira da Silva¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

² Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio (Unilúrio), Moçambique.

*Autor correspondente (e-mail): trugilho@ufla.br

Resumo: Ambientes contrastantes, especialmente em relação a seca, provocam redução no crescimento vegetativo e mortalidade de árvores em povoamentos florestais. Entretanto, em relação às características da madeira existe ainda muita controvérsia na literatura. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de ambientes contrastantes, devido ao período de seca, na densidade básica da madeira de espécies não comerciais de *Eucalyptus*. Dois ambientes contrastantes, Paraopeba-MG e Borebi-SP, e oito espécies de *Eucalyptus* (*E. citriodora* subsp. *citriodora*, *E. citriodora* subsp. *variegata*, *E. henryi*, *E. torelliana*, *E. amplifolia*, *E. longirostrata*, *E. major* e *E. urophylla*) aos seis anos foram utilizadas. Sete árvores foram amostradas por espécie. Discos de 2,5cm de espessura foram retirados na base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do fuste das árvores. Duas cunhas opostas foram utilizadas, por altura amostrada no fuste, para a determinação da densidade básica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial com dois fatores (espécie e local). A análise de variância indicou que os efeitos de espécie e a interação foram significativos. O desdobramento da interação e avaliação do efeito de local dentro de espécie mostrou que somente o *E. urophylla* e o *E. major* apresentaram diferença significativa da densidade básica entre os dois ambientes.

Palavras chave: Local; Característica física; Qualidade da madeira.

EFFECT OF CONTRASTING ENVIRONMENTS ON WOOD BASIC DENSITY OF NON-COMMERCIAL *Eucalyptus* SPECIES

Abstract: Contrasting environments, especially in relation to drought, cause reduced vegetative growth and tree mortality in forest stands. However, there is still much controversy in the literature regarding wood characteristics. This study aimed to evaluate the effect of contrasting environments, due to the dry season, on the basic wood density of non-commercial *Eucalyptus* species. Two contrasting environments, Paraopeba-MG and Borebi-SP, and eight *Eucalyptus* species (*E. citriodora* subsp. *citriodora*, *E. citriodora* subsp. *variegata*, *E. henryi*, *E. torelliana*, *E. amplifolia*, *E. longirostrata*, *E. major* and *E. urophylla*) at six years-old were used. Seven trees were sampled by species. Discs 2.5cm thick were taken at the base (0%), 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height of the tree stem. Two opposing wedges were used, by height sampled in the stem, to determine the basic density. The experimental design used was completely randomized, arranged in a factorial scheme with two factors (species and site). Analysis of variance indicated that the species and interaction effects were significant. The unfolding of the interaction and evaluation of the site effect within species showed that only *E. urophylla* and *E. major* presented significant differences in basic density between the two environments.

Keywords: Site; Physical characteristics; Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

Das características físicas da madeira, a densidade básica é uma das mais importantes, pois está associada com outras propriedades e produtos madeireiros. Esta característica representa a quantidade

de massa seca por unidade de volume verde ou saturado. Como as demais características da madeira ela sofre influência de fatores genético e ambiental, além da interação entre estes dois fatores. Neste contexto, NEVES *et al.* (2011) observaram que a densidade básica média em clones de eucalipto variou com o efeito de local, material genético e a interação. Fato que demonstra a importância da avaliação desses fatores em programas de melhoramento florestal na seleção de clones mais adequados para atender aos empreendimentos florestais e usos.

Em relação ao efeito de material genético, muitos trabalhos tem confirmado que a densidade básica é um bom índice de qualidade e seleção genética, por exemplo, GOMES *et al.* (2024). Todavia ainda existe grande controvérsia na literatura em relação ao efeito ambiental e da interação na densidade básica da madeira (MENEZES *et al.*, 2015, CERETTA *et al.*, 2025). Condições ambientais estressantes, como a seca, reduz o crescimento vegetativo de árvores e podem estar interligadas com a densidade da madeira, sendo mais elevada em ambientes de crescimento desfavoráveis. Porém, não há resposta padrão da madeira quanto a este efeito (SETTE JR *et al.*, 2016 e COSTA, 2019).

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de ambientes contrastantes, devido ao período de seca, na densidade básica da madeira de espécies não comerciais *Eucalyptus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho utilizou 56 árvores de *Eucalyptus*, tendo sido amostradas seis árvores por espécie. Os experimentos estão dentro do Programa Cooperativo, Melhoramento Florestal (Projeto - Espécies Potenciais) do IPEF. A relação das espécies utilizadas está na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das espécies utilizadas

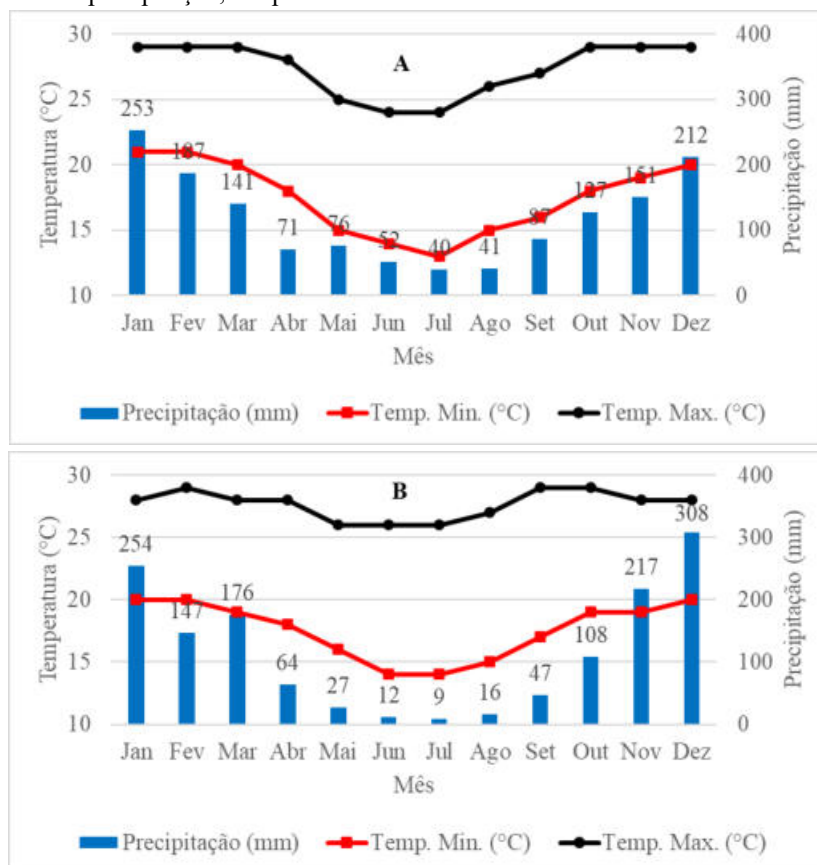
Espécie	Secção
<i>Eucalyptus citriodora subesp. citriodora</i>	<i>Ochraria</i>
<i>Eucalyptus citriodora subesp. variegata</i>	<i>Ochraria</i>
<i>Eucalyptus henryi</i>	<i>Ochraria</i>
<i>Eucalyptus torelliana</i>	<i>Torellianae</i>
<i>Eucalyptus amplifolia</i>	<i>Symphyomyrtus Exsertaria</i>
<i>Eucalyptus longirostrata</i>	<i>Symphyomyrtus Exsertaria</i>
<i>Eucalyptus major</i>	<i>Symphyomyrtus Exsertaria</i>
<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Symphyomyrtus Exsertaria</i>

A amostragem para a determinação da densidade básica da madeira no fuste das árvores consistiu na retirada de discos de 2,5 cm de espessura nas posições longitudinais de 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, considerada até um diâmetro de 4,0 cm. As árvores apresentam 6 anos de idade e foram colhidas em Borebi-SP, entre os meses de fevereiro e março de 2020, e em Paraopeba-MG, entre os meses de fevereiro e março de 2021. Os discos foram, então, seccionados em quatro cunhas (partes) sempre passando pela medula. Duas cunhas opostas foram utilizadas na determinação da densidade básica da madeira conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). A densidade básica média (DBm) da árvore foi considerada como sendo a média aritmética das cinco posições longitudinais de amostragem.

A Figura 1 mostra informações sobre a variação média da precipitação, temperatura máxima e mínima observadas em Borebi-SP (A) e Paraopeba-MG (B). As médias climatológicas são valores calculados a partir de série de dados de 30 anos observados. Outras informações sobre os dois locais podem ser obtidas em DA SILVA *et al.* (2022). Paraopeba-Mg apresenta forte déficit hídrico em 4

meses, maio, junho, julho e agosto. O clima de A é classificado como subtropical úmido, com duas estações distintas: um verão chuvoso e um inverno seco, enquanto em B o clima é tropical de altitude, com uma estação seca e fria, e outra chuvosa e quente.

Figura 1 – Variação média da precipitação, temperatura mínima e máxima nos dois locais avaliados



Fonte: <https://www.climatempo.com.br>

Na avaliação dos experimentos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial com dois fatores (local e espécie) e com seis repetições. O teste de agrupamento de Scott-Knott foi utilizado para classificar as espécies ($\alpha = 5\%$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontra-se o resumo da análise de variância do delineamento experimental utilizado. O resultado da análise de variância mostra que o efeito de local foi não significativo, enquanto os efeitos de espécie e a interação foram significativos em nível de 1% de probabilidade. Interação significativa indica a existência de dependência entre os fatores e avaliar o seu desdobramento é necessário. Optou-se em avaliar o efeito de espécie dentro de local e vice versa.

Tabela 2: Resumo da análise de variância do delineamento utilizado.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Espécie (E)	7	0,052619**
Local (L)	1	0,000782ns
E x L	7	0,003228**
Resíduo	96	0,001020

Total	111	-
Coeficiente de Variação (%)	5,48	
Média Geral (g/cm ³)	0,583	

**: significativo em nível de 1% de probabilidade, ns: não significativo.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de densidade básica (g/cm³) nos dois locais de amostragem, além do desdobramento da interação e avaliação do efeito de espécie dentro de local e vice versa.

Tabela 3: Valores médios de densidade básica (g/cm³) nos dois locais avaliados.

Espécie	Local	
	Borebi-SP	Paraopeba-MG
<i>Eucalyptus citriodora subesp. citriodora</i>	0,671 a A	0,662 a A
<i>Eucalyptus henryi</i>	0,653 a A	0,635 a A
<i>Eucalyptus citriodora subesp. variegata</i>	0,620 b A	0,615 b A
<i>Eucalyptus longirostrata</i>	0,599 b A	0,605 b A
<i>Eucalyptus major</i>	0,565 c B	0,608 b A
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,539 c A	0,480 d B
<i>Eucalyptus torelliana</i>	0,538 c A	0,516 c A
<i>Eucalyptus amplifolia</i>	0,497 d A	0,519 c A
Média Geral	0,585	0,580

Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem entre si pelos testes de Scott-Knott e F ($\alpha = 5\%$), respectivamente.

Pela Tabela 3 pode-se verificar que para a avaliação do efeito de espécie dentro de local somente o *Eucalyptus urophylla* e o *E. major* apresentaram diferença significativa entre as densidades básicas da madeira nos dois locais de amostragem. O *E. urophylla* apresentou a maior densidade básica da madeira em Borebi-SP, local de menor estresse hídrico, enquanto o *E. major* apresentou a maior densidade básica no local com maior estresse hídrico, Paraopeba-MG. De modo geral, os locais interferiram muito pouco na densidade básica, em que Borebi-SP apresentou madeira ligeiramente mais densa.

A avaliação do efeito de espécie dentro de local classificou as espécies em quatro grupos distintos de densidade básica, onde em Borebi-SP o *Eucalyptus citriodora subesp. citriodora* e o *E. henryi* foram os de madeira mais densa, enquanto o *E. amplifolia* o de menos densa. Em Paraopeba-MG a espécie de menor densidade básica foi o *E. urophylla*.

4. CONCLUSÃO

Somente o *E. urophylla* e o *E. major* apresentaram diferença significativa da densidade básica entre os dois ambientes. O *E. urophylla* apresentou a maior densidade básica da madeira em Borebi-SP, local de menor estresse hídrico, enquanto o *E. major* apresentou a maior densidade básica no local com maior estresse hídrico, Paraopeba-MG.

Outros locais de amostragem e outras características da madeira devem ser incluídos na pesquisa para que se tenha o melhor entendimento sobre este efeito nas espécies madeireiras.

5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a FAPEMIG, CNPq e IPEF pelo apoio financeiro e de logística necessários para a execução da pesquisa.

REFERÊNCIAS

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

CERETTA, R.P.S.; MARQUES, J.D.; LIMA, M.D.R.; PEREIRA, G.A.; DA SILVA, M.G.; GONÇALVES, D.A.; BUFALINO, L.; TOMAZELLO-FILHO, M.; PROTÁSIO, T.P. Planted forests of *Tachigali vulgaris* in Eastern Amazonia: how spacing affects the anatomical variations and wood density. **New Forests**, v.56, n.26, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11056-025-10094-w>

COSTA, S.E.L. **Efeito de ambientes contrastantes sobre a densidade básica e o incremento médio anual da madeira de clones de Eucalipto**. 56p., 2019. (Dissertação em Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, UFRN).

DA SILVA, P.H.M., ARAUJO, M.J., LEE, D.J.; BUSHET, D.; BARONI, G.R.; DE PAULA, R.C. Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two assessment. **New Forests**, v.53, p.779–796, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09886-7>

GOMES, G.S.L.; NETO, S.N.O.; CARNEIRO, A.C.O.; LOPEZ, L.S.S.; LEITE, H.G.; CALDEIRA, M.V. Influence of spacing between trees on wood and charcoal quality indicators. **Cerne**, Lavras, v.30, e-103270, 2024. doi: 10.1590/01047760202430013270

MENESES, V.A.; TRUGILHO, P.F.; CALEGARIO, N.; LEITE, H.G. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 101-116, 2015.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira** (Online), Colombo, v. 31, p. 319-330, 2011.

SETTE JR, C.R.; TOMAZELLO FILHIO, M.; LOUZADA, L.L.; LOPES, D.; LACLAU, J.P. Relationship between climate variables, trunk growth rate and wood density of *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden trees. **Revista Árvore**. Viçosa v.40, n.2, p.337-346. 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200016>.

INFLUÊNCIA DO CLIMA NA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA JOVEM DE EUCALIPTO

Stéffany de Lima Araujo^{1*}; Gustavo Jaske da Conceição¹; Sâmara Magdalene Vieira Nunes¹; Natielly Cristine Gomes de Medeiros¹; Marina Ulian Coelho²; Maria Naruna Félix de Almeida³; Paulo Henrique Muller da Silva⁴; Graziela Baptista Vidaurre¹.

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

² Veracel Celulose S.A., Brasil.

³ Departamento de Ciências Florestais, Universidade do Estado do Pará, Brasil.

⁴ Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): steffanylima02@yahoo.com.br

Resumo: Este estudo avaliou a influência de dois ambientes com condições climáticas distintos sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Foram analisadas 15 árvores por local, com amostragens ao longo do fuste comercial em 12 posições distintas. A densidade foi determinada segundo a norma NBR 11941 (2003). Os resultados indicaram que o clima tropical de Savana proporcionou maior densidade média, 457 Kg m⁻³, em comparação ao tropical úmido, 449 Kg m⁻³, com menores variações ao longo do fuste e entre as árvores. A média ponderada apresentou valores menores e indicou maior heterogeneidade no ambiente tropical úmido, onde se observaram oscilações mais acentuadas ao longo do tronco, especialmente nas regiões de base e topo. O estudo concluiu que o ambiente tropical de Savana favorece uma madeira mais uniforme e densa, enquanto o tropical úmido exige estratégias silviculturais específicas devido à maior variabilidade, potencialmente influenciada por instabilidades climáticas como irregularidades hídricas e térmicas. Assim, o clima e o método de avaliação interferem significativamente na densidade básica da madeira de eucalipto, impactando diretamente sua adequação para uso industrial.

Palavras chave: Condições ambientais; Floresta plantada; Qualidade da madeira.

INFLUENCE OF CLIMATE ON THE BASIC DENSITY OF JUVENILE EUCALYPTUS WOOD

Abstract: This study evaluated the influence of two distinct climatic environments on the basic density of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. A total of 30 trees were analyzed, with samples taken along the commercial stem at 12 distinct positions. Wood density was determined according to the NBR 11941 (2003) standard. The results indicated that the tropical Savannah climate yielded a higher average density of 457 Kg m⁻³ compared to 449 Kg m⁻³ in the humid tropical climate, with lower longitudinal and inter-tree variation. The weighted average provided more conservative values and indicated greater heterogeneity in the humid tropical environment, where more pronounced fluctuations were observed along the stem, especially at the base and top regions. The study concluded that the tropical Savannah environment favors more uniform and denser wood, while the humid tropical environment requires specific silvicultural strategies due to greater variability, potentially influenced by climatic instabilities such as irregular rainfall and temperature extremes. Thus, both climate and the evaluation method significantly affect the basic density of eucalyptus wood, directly impacting its suitability for industrial use.

Keywords: Environmental conditions; Planted forest; Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

A interação entre fatores genéticos e climáticos é determinante para o crescimento e a produtividade das espécies de *Eucalyptus*, cuja ampla adaptabilidade ecológica favorece seu cultivo em diversas regiões. O Brasil, por sua extensão territorial e investimentos tecnológicos, lidera o setor de florestas plantadas, com o gênero *Eucalyptus* ocupando 76% da área total, equivalente a 7,8 milhões de hectares, e apresentando produtividade média de 33,7 m³/ha/ano (IBÁ, 2024).

O melhoramento genético intensivo tem impulsionado ganhos expressivos em produtividade e qualidade da madeira, sendo a densidade básica um parâmetro essencial. Essa propriedade varia em função tanto das condições ambientais quanto do material genético utilizado (Câmara *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2023). Fatores como temperatura e precipitação influenciam o crescimento radial e o espessamento da parede celular, afetando diretamente a densidade da madeira (Kimberley *et al.*, 2017).

Clones de *Eucalyptus* apresentam respostas diferenciadas às condições edafoclimáticas, com variações significativas na densidade básica conforme o regime hídrico e o clima predominante (Silva *et al.*, 2022). Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de dois ambientes climáticos distintos sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As árvores amostradas foram provenientes do Programa Cooperativo sobre Densidade da Madeira (ProDM) coordenado pelo Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais – IPEF (www.ipef.br/ppgf) e pelo Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira – NUQMAD/UFES. Foi estudada a madeira de um clone comercial de eucalipto (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*) coletadas em dois ambientes climáticos diferentes, no sul da Bahia, Brasil (Tabela 1).

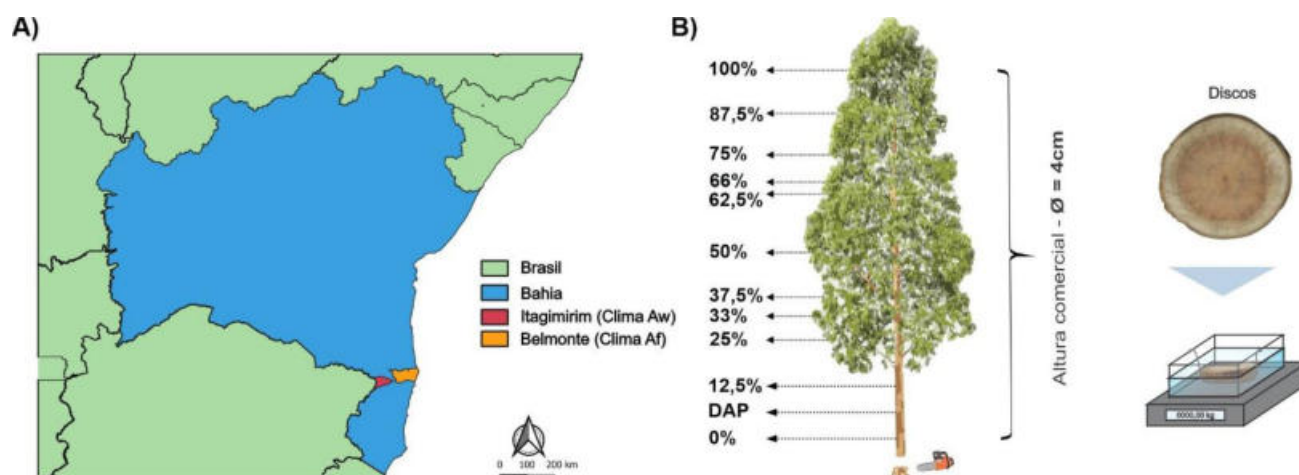
Tabela 1: Características de crescimento de um clone comercial de eucalipto em dois ambientes climáticos diferentes.

Município	Clima	Área (ha)	Altitude (m)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Área útil (m ²)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)
Itagimirim	Tropical de Savana (Aw)	40,51	238,70	33,35	9,00	23,50	1094
Belmonte	Tropical úmido (Af)	58,38	106,20	45,45	9,10	23,70	1373

Clima: segundo classificação de Koppen; IMA: incremento médio anual.

Com base nos inventários florestais conduzidos pela empresa parceira, foram selecionadas aleatoriamente árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) médio, considerando um valor mínimo de 4 cm com casca. Na condução do experimento, foram avaliadas 15 árvores de cada ambiente climático. Foi amostrado um disco por posição ao longo do fuste comercial das árvores de eucalipto. As amostras foram coletadas em 12 posições diferentes ao longo do fuste, seguindo os padrões de coleta utilizados nas industriais florestais brasileiras, abrangendo os seguintes percentuais de altura em relação ao comprimento comercial: base (0%), DAP, 12,5, 25, 33, 37,5, 50, 62,5, 66, 75, 87,5 e 100% (Figura 1).

Figura 1: Amostragem para análise da densidade básica da madeira em clones de eucalipto em dois ambientes climáticos.



A determinação da densidade básica da madeira foi realizada a partir dos discos, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003). 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). A densidade básica de cada árvore foi calculada com base na média aritmética obtidas dos discos nas posições ao longo do fuste, e também pelo método da ponderação da densidade pelo volume da árvore (Trugilho, 2009). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificação da normalidade e o de Levene para homogeneidade de variâncias. Para os fatores significativos pelo teste de F da análise de variância (ANOVA), utilizou-se o teste t para médias pareadas e não pareadas, a 5% de nível de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que tanto o ambiente climático quanto o método de cálculo da densidade influenciam significativamente a densidade básica da madeira jovem de eucalipto. No clima tropical de Savana, a densidade média aritmética foi de 457 Kg m^{-3} , enquanto no clima tropical úmido foi de 449 Kg m^{-3} . A aplicação da média ponderada resultou em valores inferiores, 449 Kg m^{-3} e 441 Kg m^{-3} , respectivamente. Essa diferença entre os métodos foi estatisticamente significativa para os dois climas testados, e a comparação entre climas revelou efeito climático também relevante sobre a densidade (Tabela 2). Esses resultados sugerem que ambientes tropicais favorecem uma maior deposição de massa seca por unidade de volume, possivelmente por apresentarem menor variabilidade hídrica ao longo do ano (Almeida *et al.*, 2023).

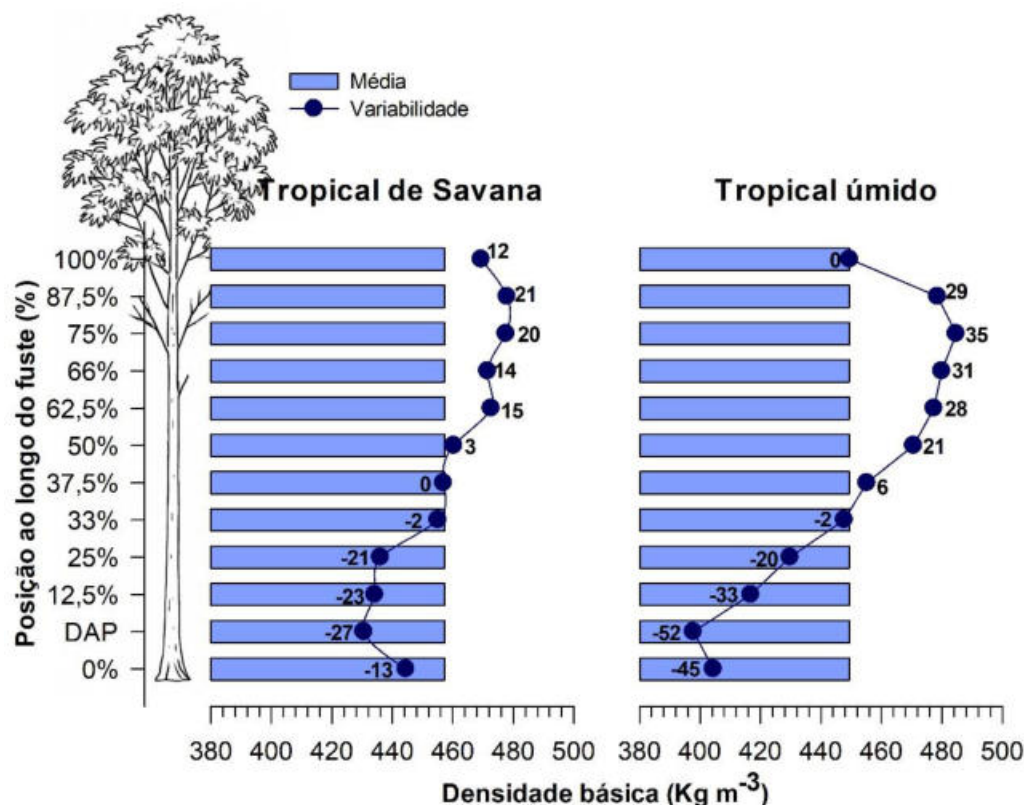
Tabela 2: Densidade básica da madeira de eucalipto em dois ambientes climáticos e métodos de cálculo.

Densidade básica	Clima	
	Tropical de Savana	Tropical úmido
Média aritmética	457aA (7)	449aB (8)
Média ponderada	449bA (8)	441bB (9)

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical (comparação entre média aritmética e ponderada) e maiúscula na horizontal (comparação entre climas) não possuem diferença estatística, a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t pareado e teste t, respectivamente.

A distribuição da densidade básica ao longo do fuste demonstrou um comportamento não uniforme nos dois ambientes. Em ambos os casos, foi observada maior proximidade da densidade básica com a média da árvore na região intermediária do tronco (33%, 37,5% e 50%, este último apenas no clima tropical de Savana). Isso indica que as posições centrais do fuste podem ser consideradas representativas da densidade média da árvore (Araujo *et al.*, 2025) (Figura 2).

Figura 2: Variabilidade da densidade básica da madeira de eucalipto ao longo do fuste em dois ambientes climáticos.



Valores em negrito correspondem a diferença entre a densidade básica média da árvore e a obtida naquela posição específica.

No clima tropical de Savana, a densidade apresentou um perfil mais estável, com desvios reduzidos em relação à média da árvore em quase todas as posições. Já no clima tropical úmido, há maior oscilação da densidade ao longo do tronco, especialmente nas posições mais próximas da base (0% a 12,5%) e do topo (87,5% a 100%), refletindo maior influência de lenho juvenil e menor uniformidade na formação do tecido lenhoso. Isso se deve a influência do estresse climático, como variações na disponibilidade hídrica e temperaturas extremas, na fisiologia cambial e, consequentemente, na densidade da madeira formada (Câmara *et al.*, 2021).

A diferença da densidade básica entre cada posição ao longo do fuste e a média da árvore foi mais acentuada no clima tropical úmido, o que sugere que esse ambiente promove maior heterogeneidade longitudinal. Isso pode ser explicado pelo efeito de flutuações climáticas mais intensas nessas regiões, como maiores amplitudes térmicas e irregularidade no regime de chuvas, impactando diretamente o crescimento e a qualidade da madeira produzida (Melo *et al.*, 2024).

A amplitude de variação da diferença da densidade básica da madeira entre árvores foi superior no ambiente tropical úmido (máximo de 128 Kg m⁻³ na posição de 33%) em comparação ao tropical de Savana (máximo de 72 Kg m⁻³ na posição de 66%). Essa maior variação indica que o ambiente tropical úmido não apenas influencia a densidade de forma individual, mas também amplia a variabilidade interindividual, o que impacta principalmente no seu uso em serrarias (Tabela 3).

Tabela 3: Amplitude de variação da diferença da densidade básica da madeira entre árvores (Kg m^{-3}) ao longo do fuste de espécies de eucalipto em dois ambientes climáticos.

Clima	Amplitude de variação da diferença da densidade básica entre árvores (Kg m^{-3})												
	Média	0%	DAP	12,5%	25%	33%	37,5%	50%	62,5%	66%	75%	87,5%	100%
Tropical de Savana	21	30	36	38	34	44	37	32	52	72	27	58	62
Tropical úmido	33	66	31	29	31	128	99	27	31	45	70	65	100

Célula verde: maior amplitude; Célula azul: menor amplitude.

A análise conjunta evidencia que o ambiente tropical de Savana proporciona madeira com maior densidade e menor variabilidade longitudinal e entre as árvores, características desejáveis para fins estruturais e industriais. Já o ambiente tropical úmido apresenta maior heterogeneidade, demandando estratégias silviculturais mais cuidadosas para controle de qualidade.

4. CONCLUSÃO

A densidade básica da madeira jovem de eucalipto foi influenciada significativamente pelo ambiente climático e pelo método de cálculo adotado. O clima tropical de Savana apresentou valores de densidade superiores e menor variabilidade longitudinal e entre as árvores, indicando maior uniformidade da madeira nesse ambiente. A média ponderada se destacou como método mais conservador, especialmente útil para ambientes de maior heterogeneidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. N. F.; VIDAURRE, G. B.; LOUZADA, J. L. P. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; ROCHA, S. M. G.; CÂMARA, A. P.; OLIVEIRA, J. C. L.; ALVARES, C. A.; CAMPOE, O. C. As variações na densidade da madeira do clone de *E. urophylla* entre os locais de crescimento estão relacionadas ao clima. **Jornal Canadense de Pesquisa Florestal**, v. 53, n. 5, p. 343-353, 2023. doi: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2022-0037>

ARAUJO, S. L.; PROTÁZIO, L. B.; GIMENEZ, G. G.; BARROS JÚNIOR, U. O.; CASTOR NETO, T. C.; SILVA, D. F. S. H. S.; REZENDE, D. A. N. R.; ALMEIDA, M. N. F.; SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Estratégias de amostragem ao longo do tronco da árvore para determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 31, e-103500, 2025. doi: 0.1590/01047760202531013500

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

CÂMARA, A. P.; VIDAURRE, G. P.; OLIVEIRA, J. C. L.; TEODORO, P. E.; ALMEIDA, M. N. F.; TOLEDO, J. V.; DIAS JÚNIOR, A. F.; AMORIM, G. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; CAMPOE, O. C. Mudanças nos padrões de precipitação aumentam as inter-relações entre o clima e as características da madeira do eucalipto. **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 485, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118959>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2024: Ano base 2023**. São Paulo, SP, 2024.

KIMBERLEY, M. O.; MCKINLEY, R.; COWN, D. J.; MOORE, J. R. Modelling the variation in wood density of New Zealand-grown Douglas-fir. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 47, n. 1, 2017. doi: <https://doi.org/10.1186/s40490-017-0096-0>

MELO, A. B.; SILVA, P. H. M.; ARAUJO, S. L.; SILVA, J. G. M.; FERRAZ, A. V.; ROCHA, S. M. G.; ALMEIDA, M. N. F.; ARAÚJO, M.; GODINHO, T.; CASTOR NETO, T. C.; MOULIN, J. C.; VIDAURRE, G. B. Productivity and wood quality traits of *Corymbia* and *Eucalyptus* species in two

soil water deficit sites. **Industrial Crops and Products**, v. 219, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119141>

SILVA, M. F. D.; LIMA, P. A. F.; NOVAES, E.; SETTE, C. R.; VALE, A. T. D. Wood energy quality of eucalyptus spp. clones established under different soil types in the brazilian cerrado. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 52, n. 5, p. 743-750, 2022. doi: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0234>

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciências Agrotécnicas**, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

MANEJO SILVICULTURAL E A QUALIDADE DA MADEIRA

INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus benthamii*

Vinícius Nagatomo Macedo¹; Nathalia Farias Gomes²; Laise Vergara Nörnberg³; Osmarino Pires dos Santos^{4*}; Vanessa Vieira Trindade de Oliveira⁴; Franco Freitas Quevedo⁴; Gabriel Valim Cardoso¹

¹Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas, Brasil; ²Laboratório de Qualidade da Madeira, Mensura Florestal, Brasil; ³Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Brasil;

⁴Pesquisa e Desenvolvimento, CMPC Celulose Riograndense, Brasil

*Autor correspondente: osmarino.santos@cmpec.com

Resumo: Dentre as espécies do gênero *Eucalyptus*, o *Eucalyptus benthamii* se destaca por seu excelente potencial genético de crescimento e grande resistência ao frio, apresentando um comprovado potencial para a produção de celulose por meio da polpação kraft. Entretanto, para se atender as necessidades do mercado de madeira às características tecnológicas passam por aspectos técnicos de implantação das florestas. Sendo assim, o papel do espaçamento de plantio, associado aos aspectos silviculturais e de manejo, é um fator determinante na qualidade da madeira produzida por florestas plantadas de eucalipto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes espaçamentos de plantio na composição química da madeira de eucalipto. O material utilizado foi constituído da espécie subtropical *Eucalyptus benthamii*, com idade de 64 meses, oriundos de plantios experimentais da empresa CMPC no estado do Rio Grande do Sul. Foram avaliados oito diferentes tratamentos, definidos a partir dos espaçamentos de plantio que apresentavam de 555 até 5555 árvores por hectare. Foram amostradas três árvores de cada tratamento e a partir de amostras representativas das mesmas foram determinadas a densidade básica e a composição química das madeiras. Os diferentes espaçamentos de plantio não provocaram diferenças de densidade básica, mas influenciaram na composição química das madeiras, principalmente nos teores de extrativos e de lignina.

Palavras chave: Silvicultura; Qualidade da madeira; Química da madeira; Densidade básica.

INFLUENCE OF PLANTING SPACING ON WOOD CHARACTERISTICS OF *Eucalyptus benthamii* CLONES

Abstract: Among the species of the *Eucalyptus* genus, *Eucalyptus benthamii* stands out for its excellent genetic growth potential and high cold resistance, showing proven potential for pulp production through the kraft pulping process. However, to meet the demands of the wood market, the technological characteristics depend on technical aspects of forest establishment. Therefore, planting spacing, combined with silvicultural and management practices, plays a key role in determining the quality of wood produced by planted eucalyptus forests. The objective of this study was to evaluate the influence of different planting spacings on the chemical composition of eucalyptus wood. The material used consisted of the subtropical species *Eucalyptus benthamii*, aged 64 months, from experimental plantations of the company CMPC in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Eight different treatments were evaluated, defined by planting spacings ranging from 555 to 5,555 trees per hectare. Three trees were sampled from each treatment, and from representative samples of these trees, basic density and chemical composition of the wood were determined. The different planting spacings did not result in variations in basic density but did influence the chemical composition of the wood, especially in terms of extractives and lignin content.

Keywords: Forestry; Wood quality; Wood chemistry; Basic density

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório anual do ano de 2024 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o Brasil teve um aumento significativo em plantios em áreas florestais. No ano de 2023, a área plantada de florestas foi de 10,6 milhões de hectares, mostrando um aumento de 3% quando comparado ao ano de 2022. E ainda, IBÁ (2024) destaca que o gênero *Eucalyptus* representa 76% de toda a área plantada no país, sendo 7,8 milhões de hectares.

A predominância das plantações do gênero *Eucalyptus* está diretamente relacionada à sua ampla utilização como matéria-prima nas indústrias de papel e celulose. E, com o decorrer do tempo, tem sido contemplada com programas de melhoramento genético em função de sua expansão territorial, variações climáticas e pela busca por estratégias mais eficientes de manejo florestal, como menciona Marcatti *et al.* (2017). Além disso, dentro desse gênero, destaca-se o *Eucalyptus benthamii*, uma das espécies potenciais utilizadas nesse setor, que se faz notável por seu excelente crescimento, bem como por sua resistência ao frio e às geadas.

O planejamento do plantio em empresas do setor florestal é, em grande parte, influenciado por diversos fatores que afetam o custo total da produção, sendo os mais comuns o adensamento inicial, os tratamentos silviculturais e a idade de corte das árvores. Conforme apontado por Santarosa *et al.* (2014), a definição do espaçamento é realizada com base nas características específicas de cada região de plantio, sendo mais comuns os arranjos em formatos quadrados ou retangulares, com dimensões de 3 × 3 metros e 3 × 2 metros.

De acordo com estudos recentes, como o de Pimenta *et al.* (2024), a diferença de espaçamento em plantios de clones de *Eucalyptus* não afeta significativamente o teor de lignina. No que diz respeito à densidade básica da madeira, a literatura apresenta resultados divergentes. Magalhães *et al.* (2020), por exemplo, identificou valores mais elevados de densidade básica em plantios com espaçamentos maiores. Por outro lado, Benin *et al.* (2017) não observou influência significativa do espaçamento sobre as propriedades físico-mecânicas da madeira.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos de diferentes espaçamentos na qualidade da madeira de clones de árvores de *Eucalyptus benthamii*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram utilizadas madeiras de clones de *Eucalyptus benthamii*, oriundos de plantios experimentais da empresa CMPC. Os plantios foram implantados no estado do Rio Grande do Sul e possuíam 64 meses de idade ao serem amostrados.

Foram estudados oito diferentes tratamentos, definidos a partir dos espaçamentos de plantio que apresentam área útil por árvore variando de 1,80 a 18,0 m², conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos e respectivas informações dos plantios.

Tratamentos	Espaçamento (m x m)	Área útil (m²)	Número de árvores por hectare
1	3,00 x 0,60	1,80	5555
2	3,00 x 1,00	3,00	3333
3	3,00 x 2,00	6,00	1666
4	3,00 x 2,50	7,50	1333
5	3,00 x 3,00	9,00	1111
6	3,00 x 4,00	12,00	833
7	6,00 x 1,50	9,00	1111

8

6,00 x 3,00

18,00

555

Foram selecionadas aleatoriamente três árvores de cada tratamento nos plantios experimentais de *Eucalyptus benthamii*, e de cada árvore foram amostradas cinco regiões do tronco correspondentes a 0%, DAP (diâmetro na altura do peito), 33%, 66% e 100% da altura comercial de diâmetro mínimo igual a 5 cm. Em cada uma das regiões do tronco foram coletados dois diferentes tipos de amostra, sendo elas discos e toretes de madeira.

Os discos de madeira foram coletados de modo a apresentar 3 a 5 cm de espessura, estes foram subdivididos em quatro cunhas de igual tamanho, onde uma cunha de cada disco foi utilizada na determinação da densidade básica da madeira de acordo com a norma SCAN-CM 43:95 (1995), através do método da balança hidrostática.

Os quatro toretes de cada árvore, apresentando um comprimento de 1,2 metros foram picados na forma de cavacos utilizando picador de discos e homogeneizados. Após a homogeneização dos cavacos correspondentes a uma mesma árvore, estes foram dispostos em bandejas para secagem em estufa solar em temperatura igual ou inferior a 35°C, por um período de aproximadamente sete dias. Uma fração de igual proporção dos cavacos de cada árvore foi coletada e utilizada para compor a amostra a ser analisada quimicamente, para isto as amostras foram misturadas, moídas em um moinho do tipo Willey e classificadas de acordo com a norma T 257 sp – 12 (TAPPI, 2012) utilizando peneiras de abertura de 40 e 60 mesh, onde a fração de serragem retida na peneira de 60 mesh foi reservada para as análises químicas da madeira.

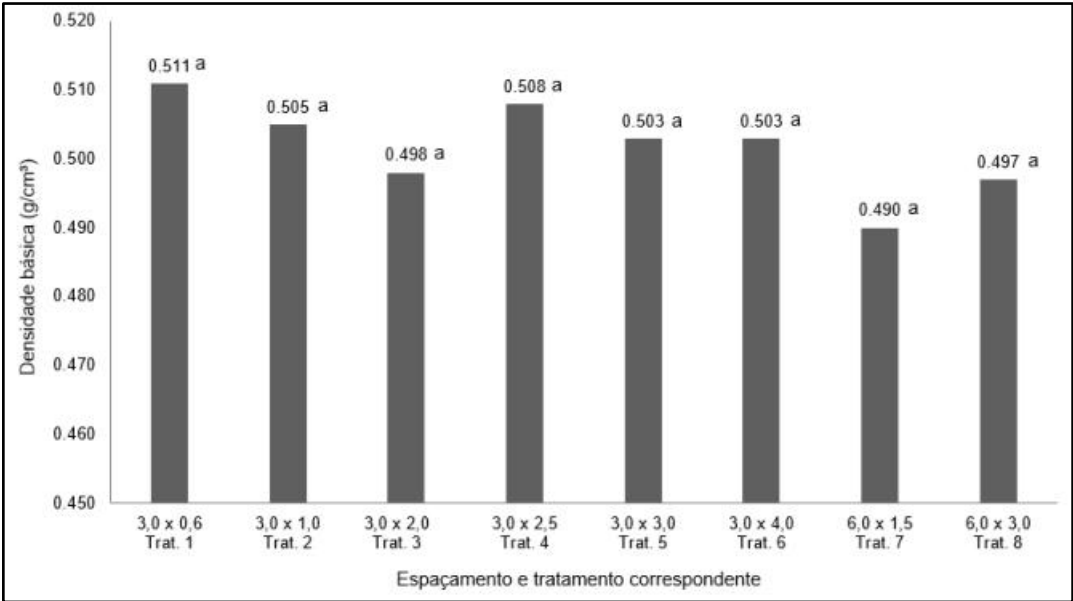
As amostras de serragem, preparadas conforme descrito anteriormente, foram caracterizadas utilizando os seguintes procedimentos ou normas: preparação para análises química T 264 cm – 07 (TAPPI, 2007), determinação de extrativos em acetona T 204 cm – 07 (TAPPI, 2007), teor de extrativos em água quente T 207 cm – 08 (TAPPI, 2008), determinação de teor de cinzas T 211 om – 12 (TAPPI, 2012) e determinação de teor de lignina insolúvel em ácido T 222 om – 11 (TAPPI, 2011).

Os resultados dos parâmetros estudados foram submetidos à análise de variância – ANOVA e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos apresentaram uma densidade mínima de 0,490 g/cm³, máximo de 0,511 g/cm³, com uma média de 0,503 g/cm³ e não apresentaram diferença estatística significativa entre os mesmos, com valores dentro do esperado para madeiras de eucaliptos plantadas com objetivo de produção de celulose (Figura 1).

Figura 1: Densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* em função do espaçamento de plantio.



Médias de extrativos em acetona e totais seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Diferente do relatado por Vidaurre *et al.* (2020), que na maioria dos estudos sobre o tema foi verificado o aumento da densidade com a ampliação do espaçamento, neste estudo os diferentes espaçamentos de plantio das árvores de clones de *Eucalyptus benthamii* não provocaram diferenças significativas no resultado de densidade básica das madeiras aos 5 anos de idade.

Os resultados das análises químicas das madeiras são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Os teores de extrativos médios das madeiras foram de 3,03%, 1,21% e 4,24% para o teor de extrativos em água quente, teor de extrativos em acetona e teor de extrativos totais, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 2.

Os diferentes espaçamentos de plantio das árvores de clones de *Eucalyptus benthamii* levaram a diferenças significativas nos resultados de extrativos presentes nas madeiras aos 5 anos de idade. O teor de extrativos totais variaram de 1,98% até 6,44%, entretanto, não existe uma relação entre o número de árvores por hectare e os resultados médios do teor de extrativos totais. Os teores de extrativos em acetona apresentam uma redução em função do adensamento de plantio, sendo os menores resultados obtido com 555 árvores por hectare.

Tabela 2: Teores de extrativos médios das madeiras em função do espaçamento de plantio.

Tratamento	Teor de extrativos em água quente (%)	Teor de extrativos em acetona (%)	Teor de extrativos totais (%)
1	0,49	1,48 b	1,98 f
2	3,03	1,06 cd	4,09 e
3	4,08	1,45 b	5,54 b
4	3,27	1,18 c	4,45 d
5	4,72	1,72 a	6,44 a
6	3,63	1,13 cd	4,76 c
7	1,07	0,97 d	2,05 f
8	3,95	0,69 e	4,64 c
Mínimo	0,49	0,69	1,98
Máximo	4,08	1,72	5,54
Média	3,03	1,21	4,24
Desvio Padrão	1,39	0,69	1,46

Médias de extrativos em acetona e totais seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

Os teores de lignina médios são apresentados na Tabela 3. O menor teor de lignina total foi encontrado nas madeiras de clones de *Eucalyptus benthamii* plantadas com o maior adensamento de árvores por hectare, tratamento 1 correspondente ao espaçamento entre árvores de 3,00 metros entre linhas e 0,60 metros entre plantas. Em contrapartida, o maior teor de lignina total foi obtido nas madeiras amostradas do plantio com menor adensamento de árvores por hectare, tratamento 8 correspondentes ao espaçamento entre árvores de 6,00 metros entre linhas e 3,00 metros entre plantas.

Tabela 3: Teores de lignina médios das madeiras em função do espaçamento de plantio.

Tratamento	Lignina solúvel (%)	Lignina insolúvel (%)	Lignina Total (%)
1	4,37 ab	22,87 e	27,24 d
2	3,73 b	24,17 cd	27,90 cd
3	5,29 a	24,95 b	30,24 ab
4	4,30 ab	24,27 c	28,55 cd
5	4,84 ab	25,17 b	30,01 ab
6	5,16 a	23,80 d	28,96 a
7	3,67 b	24,12 cd	27,80 cd
8	4,51 ab	26,73 a	31,24 a
Mínimo	3,73	22,87	27,24
Máximo	5,29	26,73	31,24
Média	4,38	24,51	27,12
Desvio Padrão	0,56	1,07	1,30

Médias de extrativos em acetona e totais seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

4. CONCLUSÃO

Os diferentes espaçamentos de plantio das árvores de clones de *Eucalyptus benthamii* não provocaram diferenças significativas no resultado de densidade básica das madeiras aos 5 anos de idade.

Os diferentes espaçamentos de plantio das árvores de clones de *Eucalyptus benthamii* levaram a diferenças significativas nos resultados de extrativos presentes nas madeiras. Não foi verificada uma relação entre o número de árvores por hectare e os resultados médios do teor de extrativos totais. Entretanto, os teores de extrativos em acetona apresentam uma redução em função do adensamento de plantio, sendo os menores resultados obtido com 555 árvores por hectare.

O teor de lignina total da madeira foi afetado pelo espaçamento de plantio, sendo que o maior teor de lignina total foi obtido nas madeiras amostradas do plantio com menor adensamento, correspondente a 555 árvores por hectare e o menor teor de lignina total foi encontrado nas madeiras de clones de *Eucalyptus benthamii* plantadas com o maior adensamento de árvores por hectare, correspondente ao espaçamento entre árvores de 3,00 metros entre linhas e 0,60 metros entre plantas.

REFERÊNCIAS

BENIN, C. C. WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, v.27, n.4, p.1375-1384, 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2024**. 2024. 99f.

MAGALHÃES, L. G. S.; LIMA, A. P, L.; LIMA, S. F.; SORATTO, D. N.; MARTINS, S. M. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.4, p.19435-19445, 2020.

MARCATTI, G. E. et al. GIS-based approach applied to optimizing recommendations of *Eucalyptus* genotypes. **Forest Ecology and Management**, v. 392, p. 144–153, 2017.

PIMENTA, E. M.; RAMALHO, F. M. G.; VIDAURRE, G. B.; COUTO, A. M.; CAMPOE, O. C.; HEIN, P. R. G. Planting spacing and genotype affected the tree growth and variation of wood density and lignin content along *Eucalyptus* trunks. **Industrial Crops and Products**, v. 222, 2024.

SANTAROSA, E.; PENTEADO J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília: Embrapa, 2014. 138 p.

VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. CARNEIRO, A. C. O. **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. Vitória-ES: EDUFES, 2020. 221 p.

VARIAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA JOVEM DE *Pinus taeda* EM FUNÇÃO DA FERTILIZAÇÃO DO SOLO

Tauana de Souza Mangini^{1*}; Daniela Minini¹; Lucas Soares Miguez²; Bruno Taffarel Skittberg³; Fernando Augusto Ferraz¹; Álvaro Luís Pasquetti Berhetti²; Alan Sulato de Andrade¹; Thiago Campos Monteiro¹

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen-RS, Brasil.

*tauanamangini@yahoo.com

Resumo: A densidade básica é uma das propriedades físicas fundamentais para avaliar a qualidade da madeira e sua aptidão para diferentes usos industriais. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização e da posição longitudinal ao longo do fuste sobre a densidade básica da espécie *Pinus taeda* aos cinco anos de idade. Foram amostradas 3 árvores por tratamento, sem e com fertilização, e retirado discos em três posições no tronco (0%, 50% e 100% da altura comercial). As médias da densidade básica foram de 349,9 e 351,1 kg m⁻³ para os tratamentos SF e CF, respectivamente, sem diferença significativa entre os tratamentos. Ao analisar a densidade básica das posições ao longo do tronco, observou-se uma redução da base para o topo, variando de 383,3 a 327,9 kg m⁻³ no tratamento SF e de 387,9 a 323,9 kg m⁻³ no tratamento CF. Os resultados indicam que, aos cinco anos, a fertilização ainda não exerce influência significativa sobre as propriedades físicas avaliadas. No entanto, a distribuição da densidade ao longo do tronco segue o padrão descrito na literatura, e reforça a importância da posição no fuste como fator determinante para a qualidade da madeira em idades jovens.

Palavras-chave: propriedade física; lenho juvenil; adubação; densidade base-topo.

VARIATION IN THE DENSITY OF JUVENILE WOOD OF *Pinus taeda* AS A FUNCTION OF SOIL FERTILIZATION

Abstract: Basic density is one of the fundamental physical properties for evaluating wood quality and its suitability for different industrial uses. This study aimed to evaluate the effect of fertilization and longitudinal position along the trunk on the basic density of the species *Pinus taeda* at five years of age. Three trees per treatment were sampled, with and without fertilization, and discs were removed from three positions on the trunk (0%, 50% and 100% of commercial height). The average basic density was 349.9 and 351.1 kg m⁻³ for the SF and CF treatments, respectively, with no significant difference between treatments. When analysing the basic density of the positions along the trunk, a reduction was observed from the base to the top, ranging from 383.3 to 327.9 kg m⁻³ in the SF treatment and from 387.9 to 323.9 kg m⁻³ in the CF treatment. The results indicate that, at five years, fertilization still does not exert a significant influence on the physical properties evaluated. However, the distribution of density along the trunk follows the pattern described in the literature and reinforces the importance of the position on the stem as a determining factor for the quality of wood at young ages.

Keywords: physical property; juvenile wood; fertilization; density from base to top.

1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas representam um importante pilar da economia florestal brasileira, fornecendo matéria-prima para diversos setores industriais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Segundo IBÁ (2024), em 2023, a área total dedicada ao plantio de árvores no Brasil atingiu 10,23 milhões de hectares, sendo que as áreas do gênero *Pinus* cobrem 1,9 milhão de hectares, correspondendo a 19% do total do setor. A região Sul concentra 89% dessa área, com destaque para Santa Catarina (719,19 mil ha) e Paraná (710,83 mil ha). Entre as espécies cultivadas do gênero *Pinus*, o *Pinus taeda* L. se destaca pelo rápido crescimento, qualidade da madeira e ampla adaptabilidade (BRAGA et al., 2024), sendo amplamente utilizado pelas indústrias de papel e celulose, madeira serrada, painéis, construção civil, embalagens, móveis e energia, refletindo a importância dessa cadeia produtiva no Sul do Brasil.

Para garantir o uso eficiente dessa matéria-prima, é essencial compreender as propriedades da madeira e os fatores que influenciam sua qualidade. Dentre essas propriedades, a densidade básica da madeira se destaca por ser determinante em aplicações industriais como celulose, papel, construção civil e painéis reconstituídos (NETO et al., 2024; BRAGA et al., 2024). Essa característica está diretamente relacionada à estrutura anatômica da madeira e é influenciada por variáveis como idade da árvore, posição ao longo do tronco e manejo silvicultural (CAMPOS et al. 2022).

Práticas silviculturais como a fertilização, além da idade e da posição no tronco, influenciam significativamente o desenvolvimento das árvores e as propriedades da madeira (KULMANN et al. 2023). A adubação pode afetar o crescimento radial e longitudinal, impactando diretamente a densidade da madeira (NILSSON et al. 2021).

Embora haja avanços nesse campo, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, ainda existem lacunas com as espécies do gênero *Pinus*, especialmente no estudo da sua madeira jovem. O interesse por essa etapa do crescimento tem aumentado devido à escassez de árvores maduras de grande diâmetro (NETO et al., 2024). Compreender como a nutrição afeta a densidade da madeira é essencial para otimizar o manejo e antecipar a produção de madeira de qualidade. Neste contexto, este estudo compara a densidade básica da madeira de *P. taeda* com 5 anos, com e sem fertilização, avaliando também seu comportamento ao longo do tronco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com árvores de *P. taeda* de 5 anos de idade, em parceria com o Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF), localizado no município de Vargem Bonita-SC. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com 3 repetições. Foram testados dois tratamentos silviculturais: sem fertilização (SF) e com fertilização (CF) no plantio, composta por NPK, cálcio e magnésio.

Inicialmente, foi realizado o inventário florestal com a medição do diâmetro à altura do peito (DAP, a 1,30 m do solo). Com base nos dados obtidos, foi selecionada a árvore de diâmetro médio de cada bloco para o corte. Após a derrubada, foram retirados de cada árvore três discos, de 5 cm de espessura, em relação a base (0,10 m acima do solo), 50%, 100% da altura comercial (limitada a 8 cm de diâmetro), totalizando 9 discos por tratamento. Os discos foram divididos em cunhas simetricamente opostas, contendo a medula, cerne e alburno. A densidade básica foi determinada conforme NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

Os dados foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Bartlett e, em seguida, submetidos à ANOVA. Quando houve diferença significativa entre os tratamentos (SF e CF), aplicou-se o teste de médias Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Assistat.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 observa-se os resultados médios da densidade básica da madeira de *P. taeda* dos tratamentos SF e CF. A densidade básica da madeira não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos avaliados (Figura 1). As médias observadas foram de 349,9 e 351,1 kg m⁻³ para os tratamentos SF e CF, respectivamente.

Tabela 1. Densidade básica dos tratamentos sem fertilização (SF) e com fertilização (CF) de espécies *Pinus taeda*

Tratamento	Densidade básica (kg m ⁻³)
SF	349,9 ($\pm 32,1$) ns
CF	351,1 ($\pm 32,1$) ns

Os valores elevados entre parênteses referem-se ao desvio padrão; As médias seguidas por ns (não significativo) não possuem diferenças estatísticas pela ANOVA a 5% de significância.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos pode estar relacionada à predominância de lenho juvenil nesse estágio de desenvolvimento. Além disso, essa porção inicial do fuste apresenta características anatômicas mais instáveis e heterogêneas, com isso, possui menor sensibilidade às práticas silviculturais, como a adubação, o que pode explicar a estabilidade da densidade observada.

No trabalho de Neto *et al.* (2022), os autores também observaram que a fertilização não afetou significativamente o crescimento e a produção de biomassa do *P. taeda*, porém a aplicação dos fertilizantes ocorreu aos 8 anos de idade e a coleta do material foi realizada com árvores de 9 a 14 anos, e os resultados obtidos da densidade básica com e sem fertilização no estudo apresentaram valores de 343,3 e 353,0 kg m⁻³, respectivamente. No trabalho de Santos *et al.* (2024), as plantações de *P. caribaea*, *P. hondurensis* e *P. taeda* fertilizados cultivadas no sudeste do Brasil responderam à fertilização quanto ao crescimento da árvore.

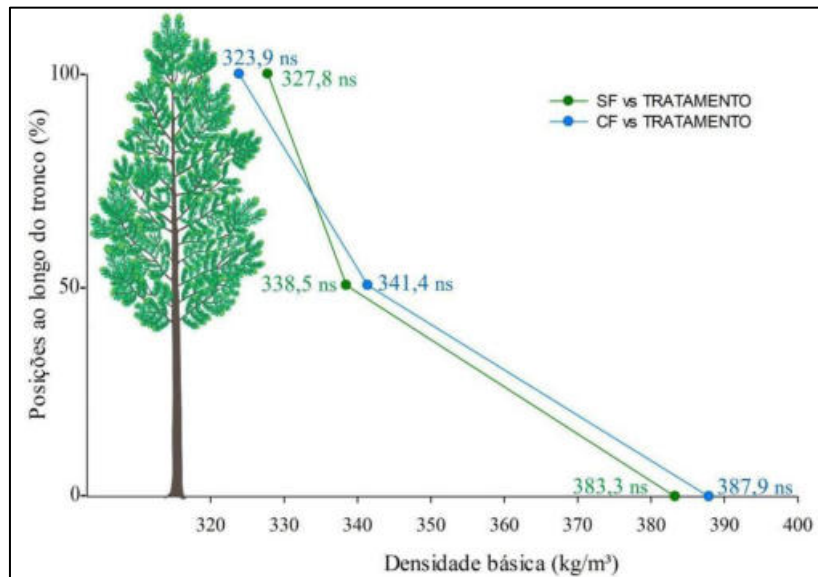
Apesar da fertilização não mostrar diferença na densidade básica da madeira, estudos conduzidos na América do Sul e no sul dos EUA mostraram que as plantações de *P. taeda* melhoraram significativamente o crescimento em altura e diâmetro e consequentemente o incremento de biomassa com a fertilização (BEKELE *et al.*, 2003, CARLSON *et al.*, 2014; WARD *et al.*, 2015). Kulmann *et al.* (2023), reforçam tal comportamento, os autores sugerem que a aplicação de nutrientes pode ajudar a melhorar a disponibilidade de recursos e impulsionar o crescimento das árvores.

Os valores médios de densidade básica da madeira observados para as árvores aos cinco anos de idade foram iguais ou superiores aos reportados na literatura para árvores mais velhas. Souza *et al.* (2007), ao estudarem *P. taeda* com nove anos de idade, encontraram densidade média de 350 kg m⁻³, enquanto Bonazza *et al.* (2022) relataram valores ainda inferiores, de 316,0 kg m⁻³, para a mesma

espécie, também aos 9 anos. As diferenças podem ser atribuídas a origem dos materiais genéticos e pela interação de fatores intrínsecos aos sítios como as condições climáticas, características do solo e práticas de manejo (CAMPOS *et al.*, 2022).

Na Figura 2 observa-se o comportamento da densidade básica ao longo do fuste das árvores com e sem fertilização e a comparação entre as posições.

Figura 2. Densidade básica ao longo do fuste em árvores com e sem adubação de *Pinus taeda*



As médias seguidas por ns (não significativo) não possuem diferenças estatísticas pela ANOVA a 5% de significância.

Em relação a densidade básica da madeira de *P. taeda* aos cinco anos ao longo do fuste, não houve diferença entre as posições no tronco para os dois tratamentos, SF e CF. No entanto, observa-se uma tendência de redução da densidade da base para o topo da árvore em ambos os tratamentos (Figura 2). Na base do tronco, os valores médios foram de 383,3 kg m⁻³ para SF e 387,9 kg m⁻³ para

CF. Na posição intermediária, correspondente a 50% da altura comercial, os valores diminuíram para 338,5 kg m⁻³ (SF) e 341,4 kg m⁻³ (CF). Já no topo do fuste (100% da altura comercial), foram registrados os menores valores: 327,8 kg m⁻³ para SF e 323,9 kg m⁻³ para CF.

Esse comportamento de redução da densidade da madeira ao longo do fuste já é reconhecido pela literatura e é considerado uma característica típica do crescimento de coníferas como o *P. taeda* (MATTOS *et al.*, 2011). De acordo com Neto *et al.* (2022), ao avaliarem a madeira de *P. taeda*, observaram que a densidade muda significativamente da base para o topo, independentemente do local de crescimento ou do tratamento silvicultural adotado, reforçando que a fertilização não teve impacto expressivo sobre essa variável, como no presente estudo.

Esse padrão também foi observado por Mattos *et al.* (2011), ao analisarem a variação da densidade ao longo do tronco em *Pinus taeda*, encontraram resultados de 460 kg m⁻³ na base, 410 kg m⁻³ a 50% e 370 kg m⁻³ a 100% de altura para madeira com 13 anos, confirmando que as maiores densidades se concentram na base e que há um decréscimo em direção à copa. Esse comportamento também foi identificado para a espécie de *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia* para o mesmo trabalho. Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira e Silva (2003) e Chimelo (2007), confirmando o comportamento em diferentes regiões, idades e condições de cultivo.

As variações na densidade ao longo do tronco estão associadas à maior presença de lenho juvenil nas regiões superiores, que possuem menor espessura de parede celular e maior diâmetro de lúmen. Mesmo sem diferenças estatísticas entre os tratamentos, a redução da densidade com a altura reforça a influência de fatores anatômicos e ontogenéticos frente à adubação até os cinco anos.

4. CONCLUSÃO

A fertilização não alterou a densidade da madeira de *P. taeda* aos cinco anos, indicando que os efeitos da adubação sobre as propriedades físicas ainda não se manifestam em idades jovens. A densidade básica diminuiu da base para o topo do fuste em ambos os tratamentos, evidenciando a influência da posição no tronco e da presença de lenho juvenil. Estudos envolvendo idades mais avançadas são necessários para avaliar se, a fertilização pode passar a impactar significativamente a densidade da madeira.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-7190-1: Projeto de estruturas de madeira Parte 1: critérios de dimensionamento, 2022.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores: Anuário estatístico 2024. Brasília, 2024.

Bekele, A.; Hudnall, W. H.; Tiarks, A. E. Response of densely stocked loblolly pine (*Pinus taeda* L.) to applied nitrogen and phosphorus. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 27, n. 3, p. 180-189, 2003.

Bonazza, M.; Sampietro, J. A.; Vivian, M. A.; Silvestre, R.; Modes, K. S. Efeito da idade, sortimento e tempo de estocagem na densidade verde da madeira de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 735-756, 2022.

Braga, R. C.; Paludeto, J. G. Z.; Souza, B. M.; Aguiar, A. V.; Pollnow, M. F. M.; Carvalho, A. G. M.; Tambarussi, E. V. Genetic parameters and genotype× environment interaction in *Pinus taeda* clonal tests. **Forest Ecology and Management**, v. 474, p. 118342, 2020.

Campos, A.; Moura, J. N. M. E.; De Campos, A. S.; De Freitas, M. C. S.; Moura, G. Da M.; Da

Silva,

D. S.; Trazzi, P. A. **Avaliações bibliométricas sobre a influência da silvicultura na densidade da madeira.** In 9º Congresso Florestal Brasileiro, v. 1, n. 1, p. 326-329, 2022.

Candaten, L.; Mangini, T.; Bandera, E.; Trevisan, R.; Costa, H. Relação da massa específica e teor de umidade da madeira de *Maclura tinctoria* ao longo do fuste. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, 2018.

Carlson, C. A.; Fox, T. R.; Allen, H. L.; Albaugh, T. J.; Rubilar, R. A.; Stape, J. L. Growth responses of loblolly pine in the Southeast United States to midrotation applications of nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. **Forest Science**, 60(1), 157-169, 2014

Kulmann, M. S. S.; Deliberali, I.; Schumacher, M. V.; Stahl, J.; Figura, M. A.; Ludvichak, A. A.; Stape, J. L. A fertilização e a uniformidade do povoamento podem afetar o crescimento e a produção de biomassa em uma plantação de *Pinus taeda* no sul do Brasil? **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 541, p. 121075, 2023.

Mattos, B. D.; Gatto, D. A.; Stangerlin, D. M.; Calegari, L.; De Melo, R. R.; Santini, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n.1, p.121-126, 2011.

Neto, T. C. C.; dos Santos, V. B.; Kulmann, M. S. de S.; Cirilo, N. R. M.; Schumacher, M. V.; Stape,

J. L.; Vidaurre, G. B. The impact of age and forestry practices on the wood quality of *Pinus taeda* L. grown in different sites in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 562, p. 121898, 2024.

Nilsson, J. A.; Jones, G.; Hakansson, C.; Blom, Å.; Bergh, J. Effects of fertilization on wood formation in naturally regenerated juvenile silver birch in a norway spruce stand in south sweden. **Forests**, v. 12, n. 4, p. 415, 2021.

Sousa, C. R., Giovanini, É. P., de LIMA, I. L., Florsheim, S. M. B., Garcia, J. N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

Ward, E. J.; Domec, J. C.; Laviner, M. A.; Fox, T. R.; Sun, G.; McNulty, S.; King, J.; Noormets, A. Fertilization intensifies drought stress: water use and stomatal conductance of *Pinus taeda* in a midrotation fertilization and throughfall reduction experiment. **Forest Ecology and Management**, v. 355, p. 72-82, 2015.

Chimelo, J.; Oliveira, J.; Fiedler, N.; Nogueira, M. **Anatomia E Propriedades Gerais Da Madeira.** Oliveira, J.T.S. Fiedler, N. C.; Nogueira, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 107-124, 2007

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.

MELHORAMENTO GENÉTICO PARA QUALIDADE DA MADEIRA

O ESPAÇAMENTO DE PLANTIO INFLUENCIA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*?

Thiago Cardoso Silva^{1*}; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas¹; Fábio Henrique Della Justina do Carmo¹; Emmanoella Guaraná¹; Tarcila Rosa da Silva Lins²; Thiago Campos Monteiro³; Ricardo Jorge Klizke³; Márcio Pereira da Rocha³

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

² Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³ Departamento de Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Brasil

*Thiago Cardoso Silva: thiago.silva@unir.br

Resumo: Para a indústria, métodos não destrutivos são importantes por serem práticos, rápidos e econômicos, permitindo classificar a madeira com base em suas propriedades estruturais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do espaçamento entre árvores no módulo de elasticidade dinâmico (MoED) e velocidade de propagação de onda (VPO) de madeiras de *Eucalyptus saligna* utilizando Stress Wave Timer. Foram selecionadas três árvores com sete anos de idade desenvolvidas três espaçamentos: 3,0 m x 3,0 m; 6,0 m x 3,0 m; e 8,5 m x 3,0 m. Foram avaliados os parâmetros densidade aparente, VPO e MoED, os dois últimos por meio do método de emissão de ondas acústicas. Em relação à densidade aparente e ao MoED, o espaçamento entre as árvores não afetou o desenvolvimento das madeiras analisadas. As madeiras apresentaram densidade de $\sim 565 \text{ kg.m}^{-3}$ e MoED de $\sim 14.500 \text{ MPa}$. No entanto, a VPO foi mais elevada nas madeiras provenientes do menor espaçamento, sem impactar diretamente na resistência mecânica.

Palavras-chave: Adensamento; Mecânica da madeira; Qualidade da madeira; Stress Wave Timer

DOES PLANTING SPACING INFLUENCE THE DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY OF *Eucalyptus saligna* WOOD?

Abstract: For industry, non-destructive methods are important because they are practical, fast, and economical, allowing wood to be classified based on its structural properties. In this context, this study aimed to evaluate the influence of tree spacing on the dynamic modulus of elasticity (MoED) and wave propagation velocity (VPO) of *Eucalyptus saligna* wood using the Stress Wave Timer. Three seven-year-old trees were selected from three spacings: 3.0m x 3.0m, 6.0m x 3.0m; and 8.5m x 3.0m. The apparent density, VPO, and MoED parameters were assessed, the latter two using the acoustic wave emission method. Regarding apparent density and MoED, the spacing between the trees did not affect the development of the wood analyzed. The woods had an apparent density of $\sim 565 \text{ kg.m}^{-3}$ and a MoED of $\sim 14,500 \text{ MPa}$. However, VPO was higher in the wood from the smaller spacing, without having a direct impact on mechanical strength.

Keywords: Planting density; Wood mechanics; Wood quality; Stress Wave Timer.

1. INTRODUÇÃO

Visando diversificar as fontes de matéria-prima na cadeia produtiva da madeira, os plantios de *Eucalyptus* sp. têm sido amplamente utilizados para suprir às demandas do setor. Em 2023, o Brasil contou com 10,2 milhões de hectares de plantios florestais, dos quais $\sim 7,6$ milhões de hectares são do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2024). Essa madeira produzida é destinada aos mercados interno e externo, com destaque para as indústrias de papel e celulose, painéis de madeira, bioenergia, biorrefinarias e madeira maciça (IBÁ, 2024).

Mesmo assim, é preciso expandir o cultivo para avaliar o manejo e melhorar a produtividade, sendo a densidade das árvores essencial para obter madeira serrada de melhor qualidade. Maiores espaçamentos tendem a gerar em árvores com crescimento mais lento, o que altera a anatomia e composição química da madeira, afetando suas propriedades físicas e mecânicas (CASSIDY et al., 2013; SILVA, 2023). Assim, para os plantios de eucalipto, o principal desafio é obter madeira com propriedades tecnológicas adequadas para suprir o mercado de serrados, especialmente devido ao uso de florestas jovens, que geram madeira juvenil e árvores com menores volumes e dimensões (SILVA et al., 2020). A qualidade da madeira é avaliada por ensaios destrutivos que determinam o módulo de elasticidade - MoE (rigidez) e o módulo de ruptura (resistência). Estes métodos, por sua vez, se caracterizam por serem morosos e ocasionarem aumento de custos (MELO et al. 2021).

Métodos rápidos, precisos e de baixo custo são essenciais para monitorar a madeira durante o crescimento e apoiar o manejo. Um desses métodos é o uso de ondas acústicas com o Stress Wave Timer, que estima o módulo de elasticidade dinâmico (MoED) e auxilia no controle de qualidade (NASIR et al., 2019). Para a indústria, é importante avaliar a eficácia dos métodos não destrutivos, pois são simples, rápidos, econômicos e permitem classificar a madeira por suas propriedades mecânicas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do espaçamento entre árvores no MoED de madeiras de *Eucalyptus saligna* utilizando Stress Wave Timer.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e processamento das amostras

A madeira avaliada foi produzida em plantio experimental com sete anos de idade, localizado em Chapadão do Sul - MS, Brasil, conduzido pela ArborGen Tecnologia Florestal no projeto TECHS (*Tolerance of Eucalyptus Clones to Hydric, Thermal and Biotic Stresses*, www.ipef.br/techs/en). As árvores clonais selecionadas apresentavam aspectos morfológicos e fitossanitários adequados, sendo excluídas aquelas afetadas pelo efeito de borda. O clima da região é classificado como tropical úmido de acordo com o sistema de Köppen-Geiger, apresentando altitude de 820 m, temperatura média anual variando entre 13 °C e 29 °C, e precipitação média anual de 1.850 mm (ALVARES et al., 2013).

Para este experimento foram selecionadas árvores cultivadas nos espaçamentos 3,0 m x 3,0 m; 6,0 m x 3,0 m; e 8,5 m x 3,0 m. As árvores foram derrubadas e seccionadas, sendo obtida uma tora com 2,0 m de comprimento da base de cada árvore, de onde foram obtidos corpos de prova nas dimensões de 20 mm × 20 mm × 300 mm, de acordo com a norma COPANT 555 (COPANT, 1973). Para cada espaçamento, foram avaliados cinco corpos de prova que foram acondicionados em câmara climática, sob temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%, até a obtenção de massa constante, assegurando a estabilização da umidade da madeira em ~12%.

2.2. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (MoED)

Após a estabilização da umidade ~12%, os corpos de prova foram mensurados, utilizando paquímetro digital e régua graduada, e pesados em balança analítica para a determinação da densidade aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). O MoED (MPa) e a velocidade de propagação de ondas (VPO) ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$), foram obtidos por meio do método de emissão de ondas acústicas, utilizando-se o equipamento Metriguard Stress Wave Timer 239^a (NASIR et al., 2019). A VPO e o MoED foram calculados de acordo com a metodologia descrita em Lins et al. (2024).

2.3. Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Utilizando o programa RStudio 4.3.2, os dados de cada parâmetro foram analisados por meio do teste de Fisher ($p < 0,05$) e, ao se observar diferenças em ao menos um par de médias, foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), visando avaliar a influência do espaçamento na qualidade da madeira. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de regressão linear e polinomial, utilizando o programa Microsoft Office Excel (pacote Office 2019), gerando-se gráficos com os seguintes parâmetros: equação da reta; coeficiente de determinação (R^2); erro padrão da estimativa (Syx); e p-valor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaçamento entre árvores não proporcionou diferenças para densidade aparente e MoED (Tabela 1), indicando que o desenvolvimento do lenho não foi afetado. Apesar disso, observou-se que a VPO foi maior nas madeiras desenvolvidas no menor espaçamento (3,0 m x 3,0 m), porém sem influência na resistência mecânica dessas madeiras. Sabe-se que a VPO é um parâmetro que varia conforme o material analisado (NASSAR *et al.*, 2020). Não há padrão definido para diferenças entre tratamentos com madeiras da mesma espécie (LINS *et al.*, 2024). Neste estudo, mesmo com variações nas velocidades, a densidade uniforme dos corpos de prova não resultou em diferenças no MoED.

Tabela 1: Módulo de elasticidade dinâmico (MoED), velocidade de propagação de ondas (VPO) e densidade aparente de madeiras de *Eucalyptus saligna* desenvolvidas em diferentes espaçamentos de plantio, com sete anos de idade.

Parâmetros	Espaçamento de plantio		
	3,0 m x 3,0 m	6,0 m x 3,0 m	8,5 m x 3,0 m
MoED (MPa)	14.672,6 $\pm$ 1.438,8* a	14.582,9 $\pm$ 900,5 a	14.417,3 $\pm$ 1.003,5 a
VPO (cm.s ⁻¹)	521.425,2 $\pm$ 11.216,7 a	501.955,4 $\pm$ 7.770,6 b	498.456,5 $\pm$ 13.778,9 b
Densidade aparente (kg.m ⁻³)	538,5 $\pm$ 30,5 a	578,6 $\pm$ 29,6 a	581,2 $\pm$ 49,2 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (95% de probabilidade); *desvio padrão

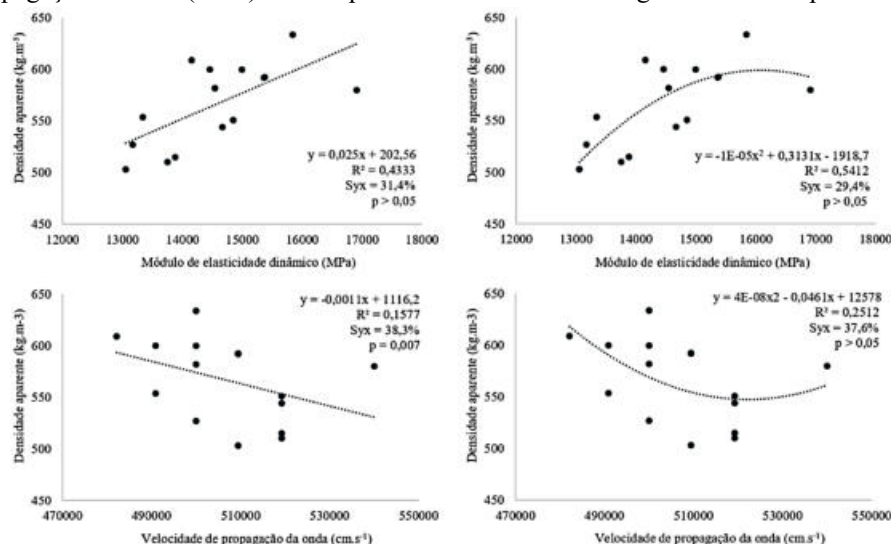
De acordo com a classificação baseada na densidade aparente proposta por Eleotério *et al.* (2015), as madeiras de *E. saligna* avaliadas podem ser classificadas como moderadamente pesadas por apresentarem média densidade (~ 565 kg.m⁻³). Portanto, as madeiras avaliadas podem ser classificadas como C 20 de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), podendo ser utilizadas na fabricação de produtos de baixa densidade e maior valor agregado, como componentes de móveis, molduras, pisos para áreas de baixo tráfego e em aplicações estruturais, como madeira roliça.

Nas pesquisas realizadas por Silva (2023), a partir da avaliação da resistência à flexão estática, utilizando métodos destrutivos em máquina universal de ensaios, estas madeiras apresentaram valores médios de aproximadamente 91 MPa, também sem influência dos espaçamentos entre árvores (SILVA, 2023). Com este procedimento, o MoE foi de aproximadamente 10.000 MPa e com o método não destrutivo, o MoED foi de aproximadamente 14.500 MPa. A diferença entre métodos gerou essas divergências, uma vez que o MoE estático é determinado por carregamentos lentos e contínuos, enquanto o MoED geralmente apresenta valor mais alto (WANG, 2008).

Para o *E. saligna*, além da avaliação de Silva (2023), registros de ensaios de flexão estática em madeiras com menos de 20 anos são escassos. Porém, apenas um estudo com madeira de 20 anos encontrou MoE médio de 13.313 MPa (NOGUEIRA *et al.*, 2019). Observou-se que esses valores para árvores com 20 anos se aproximam dos observados para o MoED. Como as madeiras avaliadas neste trabalho apresentavam sete anos, a idade deve ser considerada como um fator de variação dessa propriedade, como já mencionado nas pesquisas de Mascarenhas *et al.* (2021) e Melo *et al.* (2021).

Em relação à análise de regressão, apenas a relação linear entre a densidade aparente das madeiras e a VPO foi significativa (Figura 1). Porém, foi a que apresentou o menor coeficiente de determinação, devido à falta de heterocedasticidade na distribuição dos resíduos.

Figura 1: Modelos obtidos por meio da relação entre densidade aparente e módulo de elasticidade dinâmico (MoED) e a velocidade de propagação da onda (VPO) obtidos por meio das análises de regressão linear e polinomial.



A relação entre a densidade aparente e MoED apresentou estimadores mais robustos ao se comparar com o modelo obtido entre a densidade aparente e VPO. Apesar disso, recomenda-se intensificar a amostragem para melhores ajustes visando obter estimadores mais representativos. Independentemente do modelo avaliado, foram observadas dispersões semelhantes e elevadas para densidade ao longo de todas as faixas de MoED. Levando em consideração as informações reportadas por SFB (2025), os valores de MoED das madeiras de *E. saligna* avaliadas neste trabalho podem ser classificados como elevados (> 12.847 MPa). Este comportamento divergiu da classificação baseada no MoE estático, que indica que são madeiras com médio MoE (SILVA, 2023).

Os resultados mencionados se explicam pelo fato de MoED ser a combinação de vibrações flexurais e torcionais ao longo do corpo de prova (FERREIRA *et al.*, 2021). Ainda, ressalta-se que o MoE do ensaio de flexão estática, obtido pelo método de três pontos, geralmente é subestimado porque parte da tensão se distribui na compressão e cisalhamento das fibras (HEIN; BRANCHERIAU, 2018). Portanto, é necessário ressaltar essa divergência, uma vez que é um comportamento que pode afetar as classes de uso das madeiras avaliadas. Porém, é preciso destacar que a variação observada na VPO não resultou em diferenças no MoED, sugerindo que a rigidez foi preservada mesmo diante das variações de espaçamento para desenvolvimento das árvores.

4. CONCLUSÃO

O espaçamento entre árvores não influenciou o módulo de elasticidade dinâmico nem a densidade aparente da madeira de *E. saligna*. Embora a velocidade de propagação da onda tenha sido maior em espaçamentos menores, a rigidez da madeira (MoED) não foi afetada. O espaçamento, dentro dos intervalos avaliados, não comprometeu as propriedades mecânicas da madeira, permitindo flexibilidade no manejo silvicultural sem prejuízo à qualidade da madeira.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 - 728, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R. G. B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, v. 44, p. 919 - 936, 2013.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 555: Maderas: metodo de ensayo de flexiónestática**. Norma Panamericana COPANT, Caracas, 1973.
- FERREIRA, P. S.; RAMALHO, F. M. G.; COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; MONTEIRO, T. C.; HEIN, P. R. G. Relationship among the stiffness, wave propagation speed, density and moisture content of *Pinus elliottii* and *Bertholletia excelsa* wood specimens. **Wood Material Science and Engineering**, v. 18, n. 2, p. 151-160, 2021.
- HEIN, P. R. G.; BRANCHERIAU, L. Comparison between three-point and four-point flexural tests to determine wood strength of *Eucalyptus* specimens. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 20, n. 3, p. 333-342, 2018.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual IBÁ 2024**. São Paulo: IBÁ, 2024. 96 p.
- LINS, T. R. S.; SILVA, T. C.; CARVALHO, D. E.; ROCHA, M. P. Influence of finger joint length on the elastic modulus of reconstituted wood from *Pinus taeda* L. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 20, n. 2, p. 81 - 85, 2024.
- MASCARENHAS, A. R. P.; MELO, R. R.; PIMENTA, A. S.; STANGERLIN, D. M.; CORRÊA, F. L. O.; SCCOTI, M. S. V.; PAULA, E. A. O. Ultrasound to estimate the physical-mechanical properties of tropical wood species grown in an agroforestry system. **Holzforschung**, v. 75, n. 10, p. 879-891, 2021.
- MELO, R. R.; BARBOSA, K. T.; BELTRAME, R.; ACOSTA, A. P.; PIMENTA, A. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Ultrasound to determine physical-mechanical properties of *Eucalyptus camaldulensis* wood. **Wood Material Science and Engineering**, v. 16, n. 6, p. 407-413, 2021.
- NASIR, V., NOURIAN, S., AVRAMIDIS, S., COOL, J. Stress wave evaluation for predicting the properties of thermally modified wood using neuro-fuzzy and neural network modeling. **Holzforschung**, v. 73, n. 9, p. 827 - 838, 2019.
- NASSAR, H.; YOUSEFZADEH, B.; FLEURY, R.; RUZZENE, M.; ALÙ, A.; DARAIO, C.; NORRIS, A. N.; HUANG, G.; HABERMAN, M. R. Nonreciprocity in acoustic and elastic materials. **Nature Reviews Materials**, v. 5, p. 667 - 685, 2020.
- NOGUEIRA, M. C. J. A.; ALMEIDA, D. H.; ARAUJO, V. A.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, T. H.; LAHR, F. A. R. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus saligna* for timber structures. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 233 - 239, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. 2025. Disponível em: <<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>>; Acesso em: 14 mai. 2025.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; BALLARIN, A. W.; OLIVEIRA, J. T. S. Demarcações e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. Vitória: EDUFES, p. 14 - 46, 2020.

SILVA, T. C. **Efeito do material genético e do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira serrada de *Eucalyptus* spp.** 287 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

WANG, X. **Effects of size and moisture on stress wave E-rating of structural lumber**. Proceedings of the 10th world conference on timber engineering, 2008.

PORCENTAGEM DE CERNE E DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA DE OITO CLONES DE *Tectona grandis* L. f

Ana Rafaelly Jacob da Silva^{1*}; Francyele Dos Santos Correia¹; Waldelaine Rodrigues Hoffmann²; Bárbara Luísa Corradi Pereira²; Aylson Costa Oliveira²

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

² Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

* Ana Rafaelly Jacob da Silva (e-mail): anarafaellyjacobdasilva536@gmail.com

Resumo: A madeira de *Tectona grandis* é conhecida por sua qualidade e resistência, sendo amplamente utilizada na indústria madeireira. Variações significativas na densidade têm sido observadas entre diferentes genótipos mesmo sob as mesmas condições ambientais em plantios clonais de teca. Este estudo teve como objetivo determinar a densidade aparente da madeira de oito clones de teca com 22 anos, visando contribuir para a seleção de materiais genéticos superiores. Para a realização deste estudo, foram coletadas amostras de madeira de oito clones de *Tectona grandis*, com 22 anos de idade, provenientes de um plantio comercial localizado no município de Cáceres, Mato Grosso. Foram analisadas a proporção de cerne, alburno e medula, e determinada a densidade aparente da madeira. Não houve diferença nos percentuais de cerne e alburno entre os clones, que tiveram proporção de cerne superior a 67%. Houve diferença entre os clones para a densidade aparente, formando dois grupos: um com valores abaixo de 0,600 g.cm⁻³ e outro com valores acima de 0,600 g.cm⁻³. Conclui-se que os clones de *Tectona grandis* avaliados apresentaram boa proporção de cerne e densidade aparente moderada e recomenda-se avaliar outras propriedades para determinar os melhores clones.

Palavras chave: teca, material genético, qualidade da madeira.

HEARTWOOD PERCENTAGE AND APPARENT DENSITY OF WOOD FROM EIGHT CLONES OF *Tectona grandis* L. f

Abstract: *Tectona grandis* wood is known for its quality and strength, and is widely used in the timber industry. Significant variations in density have been observed among different genotypes even under the same environmental conditions in clonal teak plantations. This study aimed to determine the apparent density of wood from eight 22-year-old teak clones, aiming to contribute to the selection of superior genetic materials. To carry out this study, wood samples were collected from eight 22-year-old *Tectona grandis* clones from a commercial plantation located in the municipality of Cáceres, Mato Grosso. The proportions of heartwood, sapwood and pith were analyzed, and the apparent density of the wood was determined. There was no difference in the percentages of heartwood and sapwood among the clones, which had a heartwood proportion greater than 67%. There was a difference between the clones for apparent density, forming two groups: one with values below 0.600 g.cm⁻³ and another with values above 0.600 g.cm⁻³. It is concluded that the *Tectona grandis* clones evaluated presented a good heartwood proportion and moderate apparent density and it is recommended to evaluate other properties to determine the best clones.

Keywords: teak, genetic material, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

A *Tectona grandis* L. f. é nativa em países tropicais como Índia, Indonésia, Myanmar e Tailândia, sendo valorizada por sua madeira de alta qualidade e durabilidade (IBÁ, 2023; Tomaselli e Hirakuri (2023)). No entanto, a proibição de corte de bosques nativos devido à superexploração da espécie tem promovido o estabelecimento de plantios com a espécie. As florestas plantadas de teca são uma alternativa sustentável para a produção de madeira nobre, reduzindo a pressão sobre as florestas naturais (Rocha et al., 2015; Medeiros, 2016) e o Brasil possui cerca de 76 mil hectares plantados, com destaque para os estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia, devido às condições climáticas favoráveis (IBÁ, 2023; Tomaselli e Hirakuri (2023)).

Inicialmente, os plantios brasileiros utilizavam mudas produzida via sementes. Mas, atualmente, esses plantios tem utilizado mudas clonais, produzidas a partir de árvores selecionadas, ajudando a aumentar a produtividade e a qualidade da madeira, além de tornar os plantios mais homogêneos. A seleção de materiais genéticos superiores permite obter ganhos econômicos em menos tempo, além de contribuir para maior resistência a fatores bióticos e abióticos, como pragas e doenças (Reis et al., 2023).

Para auxiliar na seleção dos melhores materiais genéticos, além do crescimento e produtividade, é necessário avaliar a qualidade da madeira. Os plantios clonais de *Tectona grandis* estão chegando à idade de corte, entre 20 e 25 anos e estudos são necessários para caracterizar a madeira, principalmente quanto às propriedades morfológicas e físicas da madeira de diferentes clones, visando contribuir na tomada de decisão quanto a seleção de materiais genéticos mais adequados e superiores.

A madeira proveniente de florestas plantadas pode apresentar ampla variação em suas características físicas e morfológicas, mesmo quando cultivadas sob condições ambientais semelhantes, pois além da idade e práticas de manejo adotadas, a variabilidade está relacionada à origem genética. Assim, em plantios clonais a caracterização detalhada da madeira é essencial para garantir a escolha dos materiais genéticos mais adequados às diferentes finalidades industriais, além de permitir maior uniformidade no produto final e otimização da produção florestal (Boschetti et al., 2020; Da Silva et al., 2020).

A densidade da madeira é uma característica essencial para determinar sua resistência, durabilidade e qualidade final. Estudos mostram que essa propriedade pode variar conforme a idade da árvore, condições de crescimento e material genético, influenciando diretamente seu uso industrial (Pérez Cordero e Kanninen, 2003; Seta et al., 2023). A densidade também está relacionada à estabilidade dimensional e ao desempenho da madeira durante o processamento.

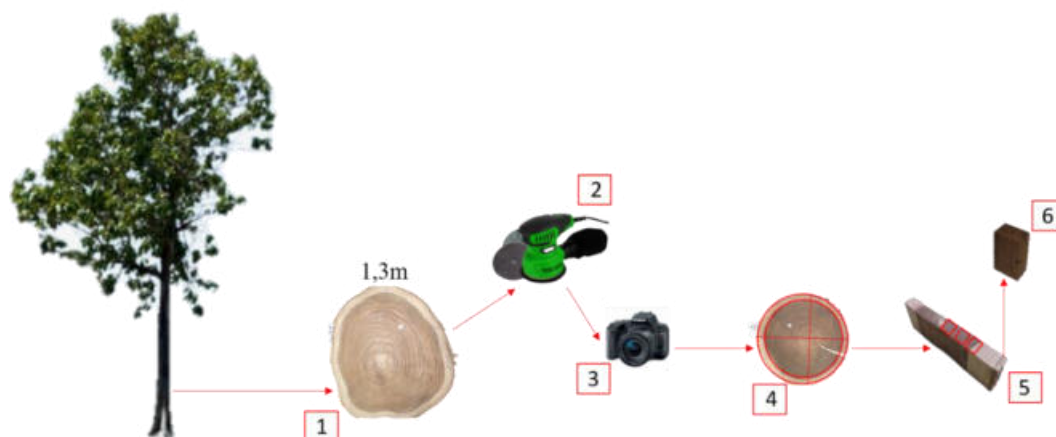
Variações significativas na densidade têm sido observadas entre diferentes genótipos mesmo sob as mesmas condições ambientais em plantios clonais de teca, o que reforça a importância da avaliação e seleção adequada de materiais genéticos (Kollert & Kleine, 2017). Assim, é necessário realizar estudos para contribuir com a geração de matéria prima de qualidade para a indústria madeireira e promover o aumento da produção de madeira utilizando a mesma área plantada. Este trabalho tem como objetivo determinar a densidade aparente da madeira de diferentes clones de teca com 22 anos de idade, em um plantio no estado de Mato Grosso, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram coletadas amostras de madeira de oito clones de *Tectona grandis*, com 22 anos de idade, provenientes de um plantio comercial localizado no município de

Cáceres, Mato Grosso. Foram selecionadas três árvores de cada material genético, mínimo disponibilizado pela empresa e suficiente para análises estatísticas, e de cada uma foi retirado um disco de 5 cm de espessura, na altura de 1,3 metros do solo (Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico de amostragem para análise das propriedades morfológicas e físicas da madeira de *Tectona grandis* aos 22 anos.



(1) Coleta dos discos na altura de 1,3 m do solo; (2) Lixamento das madeiras; (3) Fotografia para análise das áreas de medula, cerne e alburno; (4) Medição das áreas usando o software ImageJ; (5) Retirada das baquetas diametrais no sentido casca-medula-casca; (6) Preparação dos corpos de prova para ensaios de densidade (6).

Inicialmente, os discos foram lixados com auxílio de lixadeira elétrica com lixas de grão 100 até 500 para garantir uma superfície uniforme e facilitar as análises (Figura 1). Em seguida, os discos foram fotografados para análise das imagens e quantificação das áreas de medula, cerne e alburno.

As áreas de medula, alburno e cerne foram medidas usando o aplicativo ImageJ, com calibração de 0,5 cm. A distinção entre as regiões foi feita macroscopicamente pela mudança de cor. Com base nessas medidas, foram calculadas as porcentagens de medula, alburno e cerne em relação à área do disco.

Após, amostras de baquetas diametrais foram retiradas de cada disco, no sentido casca-medula-casca. Essas baquetas foram demarcadas em seções de 3 cm, e corpos de prova com dimensões de 2 cm × 3 cm × 5 cm (plano tangencial × radial × longitudinal) foram retirados nas regiões de cerne (próximo à medula), alburno periférico e transição (alburno e cerne). As amostras foram utilizadas para a determinação da densidade aparente da madeira conforme norma ABNT NBR 7190 (2022). As amostras foram mantidas em uma sala climatizada, sob condições de 60% de umidade e temperatura de 20 ±5°C, até atingirem equilíbrio higroscópico, próximo de 12% de umidade. Em seguida, foram coletados os dados de massa utilizando uma balança digital com precisão de 0,01 g. As dimensões radiais, tangenciais e longitudinais de cada corpo de prova foram medidas com um paquímetro digital de precisão de 0,01 mm, sob condição de equilíbrio higroscópico (65% URar e 20°C), próximo de 12% de umidade.

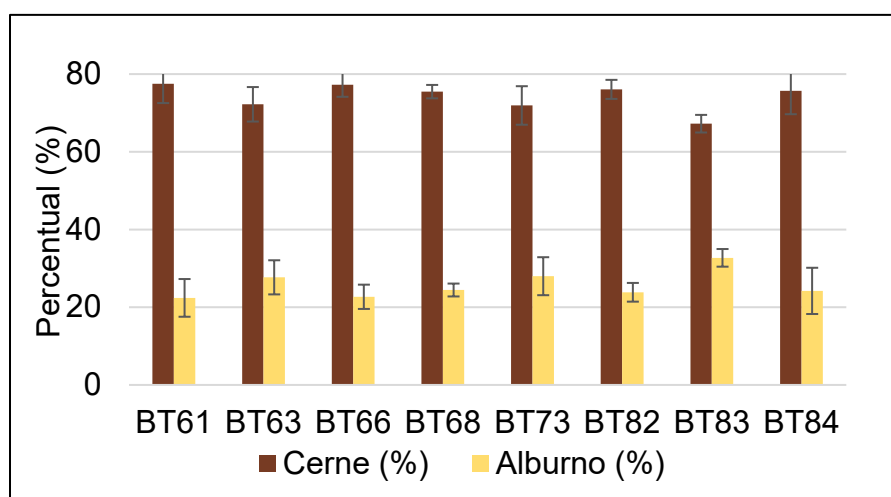
Os dados foram analisados considerando-se os tratamentos (clones) dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições (árvores). Para verificar a existência de diferenças entre os materiais genéticos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA).

Quando identificadas diferenças significativas, a comparação entre os tratamentos foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando o software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proporção de cerne e alburno não teve diferença estatística significativa entre os clones (Figura 2). O clone BT61 teve a maior proporção de cerne (77,49%), enquanto o clone BT83 teve a menor (67,23%), com os demais clones variando entre 71% e 77%. O alburno ficou abaixo de 33% em todos os clones, com o maior valor no clone BT83 (32,71%) e o menor no clone BT61 (22,40%). A menor presença de alburno pode ser uma vantagem para a indústria, reduzindo a necessidade de tratamento da madeira e resultando em menor geração de resíduos, visto que a madeira de cerne é o produto mais valorizado e comercializado.

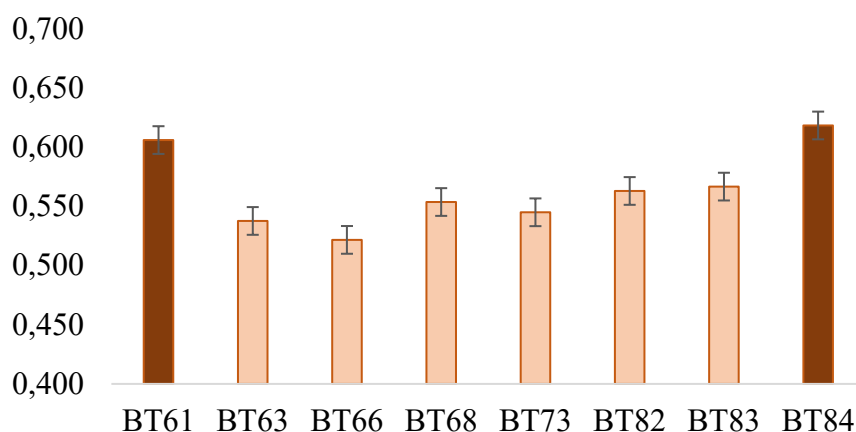
Figura 2. Percentual de cerne e alburno em diferentes clones de *Tectona grandis* aos 22 anos.



Segundo Curvo et al. (2024) a seleção de clones com maior proporção de cerne melhora a qualidade da madeira e aumenta sua aceitação no mercado internacional, especialmente para exportação à Ásia, onde há grande demanda por madeira de alta qualidade. Esses resultados indicam que os materiais genéticos avaliados possuem uma formação de cerne semelhante, reforçando a importância da seleção genética para manter a qualidade da madeira no mercado e a necessidade de avaliar outras propriedades para indicação de material superior.

Não houve diferença significativa entre as posições radiais de amostragem. Mas houve diferença significativa entre os clones de *Tectona grandis* aos 22 anos para a densidade aparente da madeira (Figura 3). formando 2 grupos: Grupo dos clones BT61 e BT84 com valores acima de 0,606 g/cm³, sendo classificados como alta densidade e o grupo com os demais clones com valores variando entre 0,522 e 0,567 g/cm³, classificados como densidade moderada.

Figura 3. Densidade aparente da madeira de clones de *Tectona grandis* aos 22 anos



Médias de mesma cor não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Segundo Silva (2024), a densidade básica da madeira é um fator importante para a qualidade e o aproveitamento industrial, logo destaca-se os materiais BT61 e BT84 que tiveram maiores valores. Isso reforça a influência do material genético, indicando que esses clones possuem potencial para produzir madeira de qualidade superior, o que contribui para maior valorização no mercado, especialmente em produtos que exigem maior estabilidade e resistência. No entanto, reforça-se a necessidade de avaliar outras propriedades para determinar os melhores clones.

4. CONCLUSÃO

Os clones de *Tectona grandis* avaliados apresentaram boa proporção de cerne e densidade aparente entre moderada e alta. Houve diferença na densidade entre os clones, formando dois grupos: um com valores acima de 0,600 g/cm³ (BT61 e BT84) e outro com valores entre 0,522 e 0,567 g/cm³.

Conclui-se que a escolha do material genético influencia a qualidade da madeira e conjuntamente, deve-se considerar as características de crescimento para uma avaliação mais completa dos clones.

REFERÊNCIAS

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. 2019. **Relatório IBÁ 2018**. Brasília, 2019. 80p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho. 2003, 309p.

KOLLERT, W.; KLEINE, M. **The global teak study: analysis, evaluation and future potential of teak resources**. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), 2017. 978-3-902762-77-1.

PÉREZ CORDERO, L. D.; KANNINEN, M. Heartwood, Sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, 37, n. 1, p. 45-54, 2003.

BOSCHETTI, W. T. N.; VIDAURRE, G. B.; DA SILVA, J. G. M. **Densidade e sua variação na madeira de eucalipto**. In: Vidaurre, G. B.; da Silva, J. G. M., et al (Eds.). *Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil*. Editora Universitária – Edufes: Filiada à Associação Brasileira das Editoras Universitárias (Abeu), 2020. cap. 5, p. 132-170.

DA SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; BALLARINM, A. W.; OLIVEIRA, J. T. D. S. **Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto**. In: Vidaurre, G. B.; da Silva, J. G. M., et al (Eds.). Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasiled. vitória,ES: EDUFES, 2020. cap. 1, p. 15-46.

DE LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* hill ex-maiden. **CERNE**, v. 13, 2007. doi.

MEDEIROS, R. A. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* L.f. no estado de Mato Grosso**. 2016. 198 f. (Tese doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; ASSIS, T. F. D. **Contexto mundial do melhoramento genético da teca**. In: Reis, C. A. F.; de Oliveira, E. B., et al (Eds.). Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasiled. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 136-223s.

ROCHA, H. F. D.; LEONARDO, F. V. S.; OLIVEIRA, A. C. **Plantios comerciais de *Tectona grandis* L.f. no Brasil**. Multitemas, v. 48, p. 9-28, 2015. doi.

SILVA, J. E. C. D. Morfologia do fuste e propriedades da madeira de *Tectona grandis* l.f. de plantações em idade de corte final. 2024. 88 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal De Mato Grosso Faculdade De Engenharia Florestal, CUIABÁ-MT, 2024.

TOMASELLI, I.; HIRAKURI, S. R. **Mercado mundial da madeira de teca** In: Reis, C. A. F.; de Oliveira, E. B., et al (Eds.). Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasiled. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2023. cap. 2, p. 46-78.

AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE SEIS MATERIAS GENÉTICOS DE EUCALIPTO PLANTADOS NO ESTADO DE MATO GROSSO

Yuri Nickson da Costa Sousa^{1*}; Isabelly Karolina Terra de Oliveira¹, Camila Mendes Campos²; Waldelaine Rodrigues Hoffmann²; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro⁴; Bárbara Luísa Corradi Pereira¹; Aylson Costa Oliveira²

¹ Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso

² Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais - Universidade Federal de Mato Grosso

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa

*Autor correspondente (e-mail): yurinickson@gmail.com

Resumo: A biomassa proveniente de florestas plantadas é uma fonte renovável para a geração de energia, sendo considerada uma alternativa sustentável às fontes fósseis. Este estudo teve como objetivo determinar a densidade básica, o poder calorífico superior (PCS) e a densidade energética de seis clones de eucalipto, diferentes híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, plantados no Mato Grosso. Foram coletadas cinco árvores dos diferentes clones, com 6,5 anos, de um plantio comercial em Tangará da Serra - Mato Grosso. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre os clones avaliados para a densidade básica com média igual a 0,4919 kg/m³; e para o poder calorífico superior com média de 4701,91 kcal/kg. Para a densidade energética também não houve diferença estatística com valor médio igual a 2322,171 kcal/cm³, isso sugere que os clones possuem desempenho energético semelhante, sendo todos adequados para uso na geração de energia. Conclui-se que todos os clones avaliados têm qualidade para uso energético e não houve diferença entre os clones, sugerindo que o desempenho energético dos clones analisados é semelhante.

Palavras chave: Combustão; Poder Calorífico; Energia Sustentável; Densidade.

EVALUATION OF THE WOOD FROM SIX *EUCALYPTUS* GENETIC MATERIALS PLANTED IN THE STATE OF MATO GROSSO

Abstract: Biomass from planted forests is a renewable source for energy generation and is considered a sustainable alternative to fossil fuels. This study aimed to determine the basic density, higher heating value (HHV), and energy density of six eucalyptus clones, different hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, planted in the state of Mato Grosso. Five trees of each clone, aged 6.5 years, were collected from a commercial plantation in Tangará da Serra, Mato Grosso. The results showed no significant differences among the evaluated clones for basic density, with an average of 0.4919 kg/m³, or for higher heating value, with an average of 4701.91 kcal/kg. There were also no statistical differences in energy density, with an average value of 2322.171 kcal/cm³. This suggests that the clones have similar energy performance, making all of them suitable for energy generation. It is concluded that all evaluated clones are of adequate quality for energy use, and no significant differences were found among them, indicating that their energy performance is similar.

1. INTRODUÇÃO

A biomassa constitui uma importante fonte de energia renovável, sendo provenientes de florestas plantadas, atividades agrícolas, e resíduos da agricultura e da indústria madeireira (Marafon, 2016). A utilização da biomassa florestal como fonte energética apresenta vantagens ambientais e socioeconômicas, sendo considerada uma alternativa sustentável às fontes fósseis. Além de ser

amplamente disponível, sua utilização contribui para a redução da dependência de combustíveis não renováveis e para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Moreira, 2011).

A área total de florestas plantadas no Brasil ultrapassou, 10 milhões de hectares e desse total, 7,8 milhões de hectares correspondem a plantações de eucalipto (IBÁ, 2024). Os plantios de eucalipto estão localizados, principalmente, nas regiões Sudeste (44%), Centro-Oeste (20%) e Sul (15%) do país (IBÁ, 2024). Em relação ao Mato Grosso, segundo Michetti, et al. (2022) os plantios totalizam 9,6 milhões de hectares e essas áreas têm se destacado pela crescente demanda de biomassa para diversas atividades agroindustriais, incluindo a produção do etanol de milho.

Cerca de 54% da madeira de eucalipto comercializada no Mato Grosso é destinada à secagem de grãos (Michetti et al., 2022). Segundo Dai (2020) a energia empregada na secagem é proveniente da queima de combustíveis, destacando-se a biomassa, oriunda principalmente de eucalipto, devido ao custo inferior quando comparada com outras opções, como o óleo diesel e o GLP (Gás Liquefeito do Petróleo). Assim, a importância do eucalipto tem crescido significativamente em Mato Grosso, devido ao seu potencial para suprir demandas industriais e agrícolas (Behling et al., 2021).

Com a crescente demanda e aumento da área plantada no estado, torna-se necessário avaliar as propriedades da madeira de diferentes materiais genéticos plantados no Mato Grosso. Entre os fatores determinantes para avaliar a eficiência e viabilidade econômica das florestas, destaca-se a densidade básica, o poder calorífico e a densidade energética, que influenciam diretamente o desempenho da biomassa em aplicações energéticas e industriais (Simioni, 2007).

As análises possibilitam a seleção de materiais genéticos mais produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas locais, promovendo maior eficiência no uso da biomassa e contribuindo para a sustentabilidade do setor florestal e energético (Simioni, 2018). Assim, torna-se essencial a realização de estudos voltados à avaliação das propriedades dos clones de eucalipto plantados no estado. O trabalho teve como objetivo determinar a densidade básica, poder calorífico superior e a densidade energética de seis materiais genéticos de eucalipto com seis anos e meio de idade, plantados no estado de Mato Grosso, visando avaliar o potencial energético para uso na combustão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram selecionados seis materiais genéticos de Eucalipto, diferentes híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, com idade de seis anos e meio, provenientes de um plantio clonal comercial localizado no município de Tangará da Serra, Mato Grosso. Para cada material genético, cinco árvores visualmente sadias e sem defeitos foram escolhidas, considerando um Diâmetro à Altura do Peito (DAP) representativo da população.

A amostragem da madeira foi realizada por meio da retirada de discos em diferentes alturas do tronco, incluindo a base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Em todos os discos, foram realizadas marcações das cunhas opostas, para a determinação da densidade básica dos clones. Cada cunha foi devidamente cortada, identificada e marcada, especificando a que clone e árvore pertenciam, bem como o número da árvore e a posição do disco de onde foi retirada.

As amostras foram submersas em água, permanecendo por um período de um mês e meio. Após a saturação completa, determinou-se o volume saturado, utilizando-se uma balança analítica. Após, as amostras foram secas ao ar livre e colocadas em estufa a 100°C por 24 horas, para determinar a massa seca. A densidade básica de cada material foi calculada com base na relação entre a massa seca e o volume saturado, de acordo com a norma NBR 11941 (2003).

O restante do material foi moído e peneirado utilizando peneiras de 40 e 60 mesh e o material retido na peneira de 60 mesh foi utilizado para análise do poder calorífico superior, que foi determinado de acordo com a norma E711-87 (ASTM, 2004), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática modelo IKA C-200. A densidade energética foi obtida pela multiplicação do poder calorífico pela densidade básica da madeira, expressando a quantidade de energia armazenada por unidade de volume quilo caloria por grama (kcal/m^3).

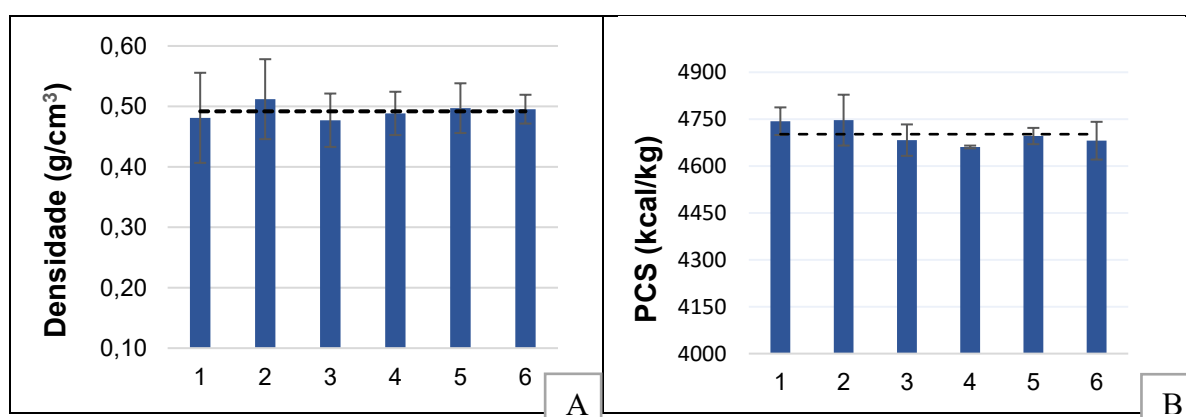
O experimento foi instalado com 6 tratamentos (clones) e 5 árvores (repetições). Para verificar a normalidade da distribuição, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk e para avaliar a distribuição normal realizou-se o teste de Bartlett. Após, realizou-se a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5% para comparar os diferentes materiais genéticos. Quando identificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As densidades básicas não diferem significativamente entre os clones avaliados (Figura 1A), com a média geral de $0,4919 \text{ g/cm}^3$ mas variam de $0,4771 \text{ g/cm}^3$ a $0,5119 \text{ g/cm}^3$. Esses resultados sugerem que os clones se comportaram de forma semelhante. Oliveira, (2016) avaliando a madeira de eucalipto com idade semelhante, obteve uma média de densidade igual a $0,500 \text{ g/cm}^3$, valor próximo ao encontrado neste estudo.

A densidade básica da madeira de eucalipto, afeta diretamente seu potencial energético, impactando a eficiência na geração de energia a partir da biomassa (Barreiros et al. 2021). Assim, a ausência de diferenças significativas de densidade sugere que todos os clones podem ser utilizados de forma equivalente em aplicações industriais, onde a densidade da madeira seja um critério importante, incluindo na produção de energia através da queima do material de *Eucalyptus*, uma vez que visto que, quanto maior a densidade da madeira, maior será a quantidade de energia armazenada por unidade de volume do material.

Figura 1 - A- Densidade básica (g/cm^3); B - Poder calorífico (Kcal/Kg) da madeira de seis materiais genéticos de Eucalipto



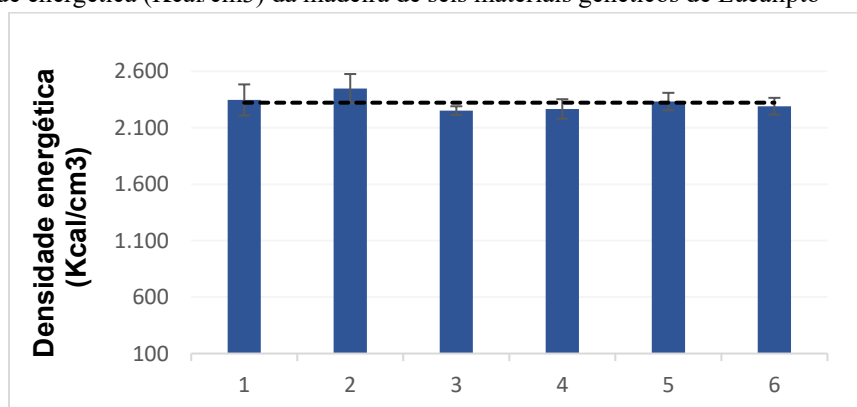
Observa-se que não houve diferença estatisticamente significativa para o poder calorífico entre os clones analisados (Figura 1B), com a media geral de $4701,909 \text{ kcal/kg}$ os valores médios variando dentro de uma faixa relativamente estreita, entre 4.661 e 4.746 kcal/kg , sugerindo uma estabilidade no PCS entre os clones avaliados. Estudos indicam que a madeira de clones de eucalipto com 6 anos apresenta valores de PCS que variam entre 4.538 a 4.669 kcal/kg , (Jesus et. al, 2017).

Esses valores corroboram os dados do presente estudo, indicando que os valores de PCS obtidos estão dentro da faixa esperada para clones de eucalipto com idade próxima.

O PCS indica a quantidade de energia que pode ser obtida da madeira durante a combustão, madeiras com PCS elevado liberam mais energia, tornando-as mais eficientes para processos de combustão. Segundo Habitzreiter et al. (2019), o PCS é importante para avaliar o potencial energético da biomassa e sua aplicabilidade na geração de energia.

Verifica-se na Figura 2 que os valores de densidade energética (kcal/cm^3) dos seis clones de eucalipto, tiveram valores próximos, com média geral igual a $2322,171 \text{ kcal/cm}^3$ onde o menor valor foi de $2266,009 \text{ kcal/cm}^3$ até $2447,305 \text{ kcal/cm}^3$. Os valores obtidos para a densidade energética estão dentro da variação de 2070 a 2590 Kcal/cm^3 encontrada por Jambers, (2021) avaliando diferentes clones de eucalipto, que também não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os materiais avaliados.

Figura 2– Densidade energética (Kcal/cm^3) da madeira de seis materiais genéticos de Eucalipto



A semelhança entre os valores de densidade energética (Figura 2) pode ser explicada pelo fato de que tanto o Poder Calorífico Superior (PCS) quanto a densidade básica da madeira apresentaram médias semelhantes entre os clones (Figura 1). Como a densidade energética é o produto da multiplicação da densidade básica pelo PCS, a uniformidade desses dois parâmetros principais entre os clones resulta em valores de densidade energética uniformes.

A densidade energética está diretamente relacionada à quantidade de energia contida em um determinado volume de madeira, expressando, portanto, o potencial energético do material. Quanto maior for esse valor, maior será a quantidade de energia liberada por unidade de volume do combustível, tornando-o mais eficiente para fins energéticos (Jesus et al., 2017), logo, os resultados encontrados neste trabalho indicam que os clones terão desempenho energético semelhante. Este parâmetro também é extremamente útil para o planejamento de atividades energéticas, transporte e logística. Assim, os resultados indicam que todos os clones avaliados possuem desempenho energético semelhante, sendo todos viáveis para uso como biomassa na geração de energia.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que todos os clones avaliados têm qualidade para uso energético e não houve diferença entre os clones quanto à densidade e ao poder calorífico superior (PCS) e densidade energética. Isso sugere que todos esses clones podem ser implantados em novos plantios e que a sua madeira terá desempenho energético semelhante em sistemas de queima.

A uniformidade verificada entre os clones permitirá melhor organização das atividades e planejamentos das etapas florestais e na indústria que utiliza a madeira. A seleção final dos clones deverá considerar os aspectos da madeira e de crescimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, UFMT e ZIANE FLORESTAL.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 11941. **Madeira: determinação da densidade básica**. ABNT, 2003.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM. E711-87: **Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter**. Philadelphia, 8p., 2004.

BARREIROS, R. M.; RIBEIRO, G. P.; DIAS, K. B.; GOUVÊA, C. F.; REIS, A. M. F.; SILVA, G. C. Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto. In: OLIVEIRA, Robson José de; MOREIRA, R. C. **Recursos naturais: energia de biomassa florestal**. Editora Científica Digital, p. 146–164, 2021.

BEHLING, M.; DE CARVALHO, M. A. C.; LANGER, J.; MICHETTI, M. Manual de boas práticas para o cultivo de eucalipto em Mato Grosso. In: **Manual de boas práticas para o cultivo de eucalipto em Mato Grosso**, v. 1, 2021. p. 1-53.

DAI, P. V. S. **Impactos energéticos- qualitativos e sustentáveis em diferentes tecnologias de secagem de grãos de soja**. 2020. P.1-27. Dissertação (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão Do Sul – MS, 2020.

HABITZREITER, T. L.; TONIN, C. A.; GUERRA, S. P. S.; TREVISAN, D. P.; BASSACO, M. V. Poder calorífico e análise econômica do uso total ou parcial da biomassa de eucaliptos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 3, p. 273–279, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual IBA**, 2024. P. 1-99.

JAMBERS, V. T. **Seleção de genótipos de *Eucalyptus* spp. cultivados no estado do Mato Grosso para suprimento de lenha para as agroindústrias**. 2021. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá, p. 1-58 2021.

JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. S.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

MARAFON, A. C. et al. **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 211).

MICHETTI, M.; HARRIS, V. M. G.; MUNIZ, M. R. **Mapeamento da Produção Silvicultural em Mato Grosso**. ed. 1. 118 p. Cuiabá, MT: IMEA, 2022. 118 p, ISBN: 978-65-992432-7-1.

MOREIRA, J. M. M. ã. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. Pesquisa **Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 363-372, doi: 10.4336/2011.pfb.31.68.363, 2011.

OLIVEIRA, J. C.; SANTOS, E. F.; SOUSA, S. A.; CAMPOS, J. M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. v. 12, n. 3, p. 50-61, 2016.

SIMIONI, F. J. **Análise diagnóstica e prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa de origem florestal no planalto sul de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.1-132, 2007.

SIMIONI, F. J. et al. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva-SP. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 310-323, 2018.

PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DA MADEIRA

AVALIAÇÃO DA UMIDADE E DAS PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS NA SECAGEM DE CAVACOS DE EUCALIPTO

Natielly Cristine Gomes de Medeiros^{1*}; Stéffany de Lima Araujo¹; Sâmara Magdalene Vieira Nunes¹; Gustavo Jaske da Conceição¹; Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde¹; Vaniele Bento dos Santos¹; Thayanne Caroline Castor Neto¹; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

natiellymedeiros7@gmail.com

Resumo: Os cavacos de madeira por apresentarem maior superfície específica e porosidade variável em relação à madeira sólida, demandam um acompanhamento detalhado do comportamento da umidade e retração durante a secagem. O objetivo deste estudo foi avaliar a umidade da madeira ao longo do processo de secagem de cavacos de *Eucalyptus* sp. e caracterizar as propriedades higroscópicas relacionadas à contração e ao inchamento desses cavacos. Para o desenvolvimento do estudo, foram utilizados 100 cavacos de *Eucalyptus* sp. Os cavacos foram previamente classificados, após a seleção, as dimensões foram medidas e marcadas as posições exatas de medição, em seguida, foram pesados em balança de precisão. Os cavacos foram submetidos a um processo diário de saturação. Após atingirem massa constante, foram realizadas novas medições das dimensões nas marcações previamente definidas e pesados, buscando determinar a retração dos cavacos e determinação do teor de umidade. Os resultados obtidos demonstraram clara tendência de aumento no teor de umidade (4,91 a 151,54%) e na perda de massa (0,19 a 2,59 g) ao longo do processo de secagem. A retração volumétrica dos cavacos foi de 13,98%, enquanto a média do inchamento foi de 16,89%. Após a saturação completa e subsequente secagem, os cavacos apresentaram redução significativa em suas dimensões, confirmando a estreita relação entre o teor de umidade e as deformações dimensionais. Portanto, o protocolo experimental adotado, com saturação prévia e secagem controlada, permitiu caracterizar de maneira precisa as propriedades higroscópicas dos cavacos, reforçando a importância das condições de secagem para o controle de processos industriais e defeitos estruturais da madeira.

Palavras-chave: Contração; Curva de secagem; Deformações estruturais; Controle de processos.

EVALUATION OF MOISTURE CONTENT AND HYGROSCOPIC PROPERTIES DURING THE DRYING OF EUCALYPTUS WOOD CHIPS

Abstract: Wood chips, due to their higher specific surface area and variable porosity compared to solid wood, require detailed monitoring of moisture behavior and shrinkage during drying. The objective of this study was to evaluate the moisture content of wood throughout the drying process of *Eucalyptus* sp. chips and to characterize the hygroscopic properties related to the shrinkage and swelling of these chips. For the development of the study, 100 *Eucalyptus* sp. chips were used. The chips were previously classified, and after selection, their dimensions were measured and the exact measurement positions were marked. They were then weighed using a precision balance. The chips were subjected to a daily saturation process. After reaching constant mass, new dimensional measurements were taken at the previously marked positions, and the chips were reweighed to determine their shrinkage and moisture content. The results showed a clear trend of increasing moisture content (from 4.91% to 151.54%) and mass loss (from 0.19 g to 2.59 g) throughout the drying process. The volumetric shrinkage of the chips was 13.98%, while the average swelling was

16.89%. After full saturation and subsequent drying, the chips exhibited significant reductions in their dimensions, confirming the close relationship between moisture content and dimensional deformations. Therefore, the experimental protocol adopted, involving prior saturation and controlled drying, enabled precise characterization of the chips' hygroscopic properties, reinforcing the importance of controlling drying conditions for industrial process optimization and prevention of structural defects.

Keywords: Contraction; Drying curve; Structural deformations; Process control.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material higroscópico cuja variabilidade nas propriedades físico-mecânicas está fortemente associada ao seu teor de umidade (Thybring; Fredriksson, 2023). Entre os desafios relacionados à sua utilização industrial, destaca-se o controle da secagem, principalmente em forma de cavacos, uma vez que a perda de umidade influencia diretamente nas propriedades dimensionais, como a contração e o inchamento. No processamento de madeira para fins energéticos, celulósicos ou químicos, a compreensão dos fenômenos higroscópicos ao longo da secagem é fundamental para garantir a eficiência e a qualidade dos produtos.

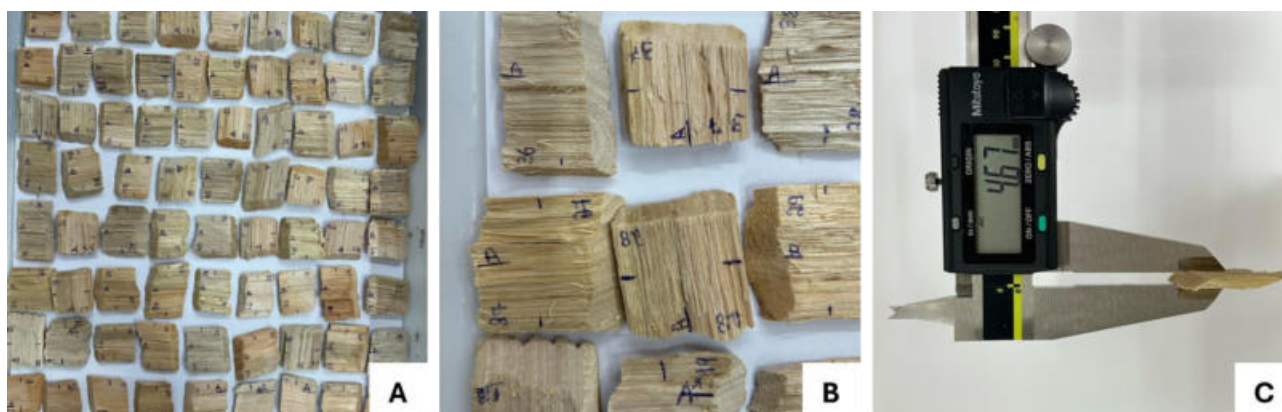
Os cavacos de madeira, por apresentarem maior superfície específica e porosidade variável em relação à madeira sólida, demandam um acompanhamento detalhado do comportamento da umidade durante a secagem (Glass e Zelinka, 2010). Além disso, as variações dimensionais causadas pelas mudanças no teor de umidade impactam diretamente na estabilidade do material e em seu desempenho em processos subsequentes. Por esse motivo, compreender essas variações é fundamental para otimizar o uso da matéria-prima de forma mais eficiente, seja no controle de processos industriais, seja em aplicações estruturais.

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar a umidade da madeira ao longo do processo de secagem de cavacos de *Eucalyptus* sp., bem como caracterizar as propriedades higroscópicas relacionadas à contração e ao inchamento desses cavacos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento do estudo, foram utilizadas 100 amostras de cavacos da madeira de *Eucalyptus* sp. plantados na região Sul da Bahia. Os cavacos foram classificados em peneira laboratorial, quarteados e depois, feita uma nova seleção a mão, buscando os cavacos com melhores condições de superfície para não afetarem as coletas dos espectros e acompanhamento da retração da madeira. Aqueles cavacos defeituosos foram descartados para que não comprometessem a obtenção dos resultados. Após a seleção das amostras, as dimensões dos cavacos foram medidas com o auxílio de um paquímetro digital e marcadas as posições exatas de medição (A) Sentido longitudinal, (B) Sentido transversal e (C) Espessura (Figura 1), em seguida, os cavacos foram pesados em balança analítica de precisão.

Figura 1: Posições de medições dos cavacos para acompanhamento da retração: (A) marcação dos cavacos, (B) cavacos demarcados nas posições avaliadas e (C) medição do cavaco



2.1. Saturação das amostras

Após a coleta dos espectros, as amostras foram submetidas a um processo diário de saturação por 5 dias sem vácuo e depois, a saturação foi por vácuo em autoclave, com duração de 30 minutos por dia. Esse procedimento teve como objetivo acelerar a retirada do ar presente nos cavacos de madeira, garantindo que, ao final do processo, seus capilares estivessem completamente preenchidos por água. O acompanhamento da saturação foi realizado ao longo de 15 dias, até que as amostras atingissem massa constante, indicando o pleno estado de saturação.

2.2. Determinação da retração e umidade dos cavacos

Após atingirem a massa constante, as amostras foram retiradas do vácuo e realizadas novas medições das dimensões nas marcações previamente definidas, com o objetivo de determinar a retração dos cavacos. Em seguida, foram pesadas em balança analítica para avaliação da massa.

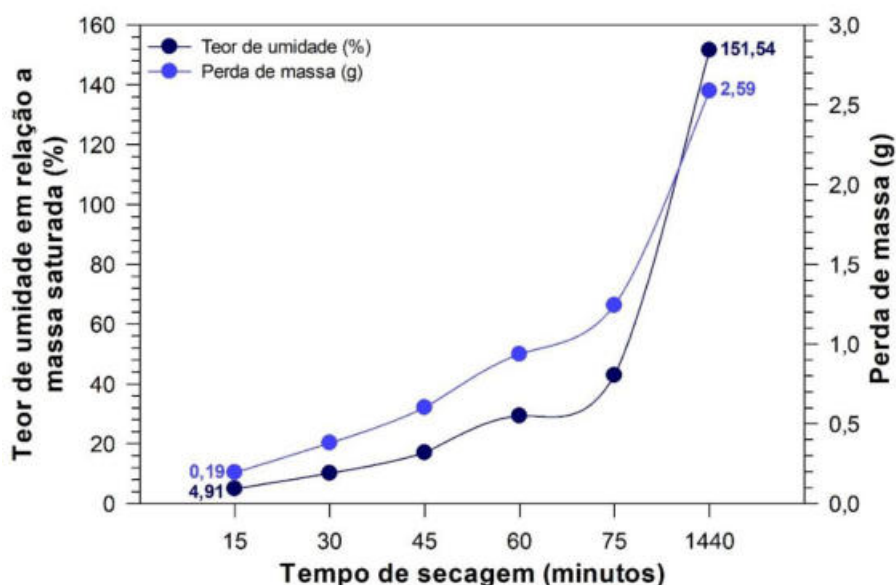
Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa com temperatura controlada de $50 \pm 2^\circ\text{C}$, conforme metodologia adaptada de Amaral (2018). Após três minutos na estufa, foram retiradas, transferidas para um dessecador e mantidas por cinco minutos para estabilização da temperatura. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica para determinação do teor de umidade e curva de secagem, e as dimensões dos cavacos foram novamente medidas nas posições anteriores definidas. Esse procedimento de repetição das coletas dos dados foi até as amostras atingirem massa constante.

As determinações das propriedades físicas foram conduzidas segundo adaptações das recomendações estabelecidas na Norma Brasileira ABNT NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2022). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software RStudio, versão 4.0.2 (R Core Team, 2020), por meio da aplicação de estatística descritiva para a síntese e interpretação dos resultados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram uma clara tendência de aumento no teor de umidade, variando de 4,91% a 151,54%, e na perda de massa dos cavacos de *Eucalyptus* sp. com variação de 0,19 a 2,59 g ao longo do processo de secagem (Figura 2). Em comparação, foi observada expressiva redução de massa e alterações nas propriedades físicas da madeira de *E. tereticornis* quando submetida à secagem em forno micro-onda (Talgatti *et al.*, 2020).

Figura 2: Teor de umidade e perda de massa de cavacos de eucalipto ao longo do período de secagem

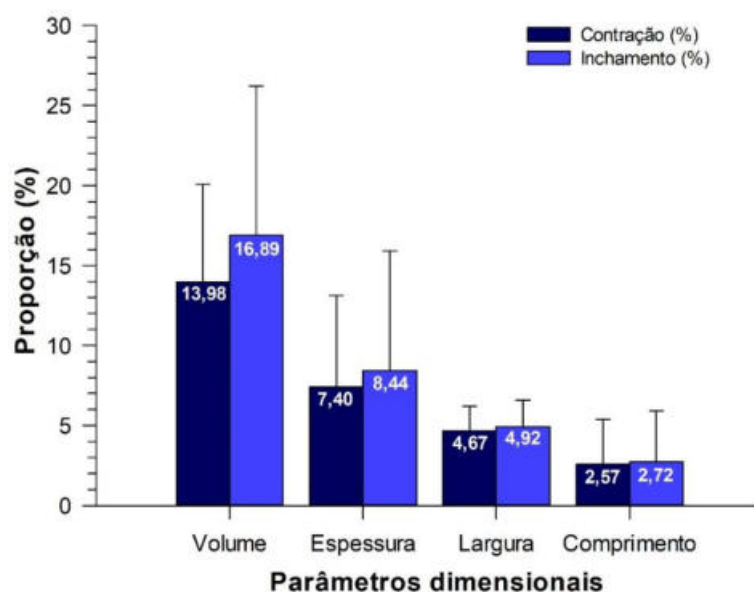


Esse comportamento é explicado pelo fato de que os cavacos foram analisados a partir de seu estado totalmente verde, ou seja, com elevada quantidade de água livre e de ligação. À medida que ocorre a perda de água por evaporação, a diferença entre a massa inicial (em base úmida) e a massa atual (em base seca) é intensificada, o que resulta em valores crescentes do teor de umidade. Assim, quanto maior a quantidade de água perdida, maior será o valor percentual do teor de umidade calculado com base na diferença entre as massas inicial e final (Glass e Zelinka, 2010).

Durante as etapas iniciais de secagem, a variação de perda de massa observada está associada à saída da água livre, que ocorre sem alterações significativas na estrutura da madeira. À medida que o processo avança, foi observada uma intensificação no teor de umidade, especialmente após a passagem pelo ponto de saturação das fibras (PSF), quando a retirada de água começa a impactar diretamente as dimensões físicas dos cavacos (Thybring *et al.*, 2022).

A retração volumétrica dos cavacos foi de 13,98%, enquanto a média do inchamento foi de 16,89% (Figura 3). Após a saturação completa e subsequente secagem, os cavacos apresentaram redução significativa em suas dimensões, confirmando a relação entre o teor de umidade e as deformações dimensionais. Esse fenômeno pode ser explicado pela mecânica da retração da madeira, que ocorre quando a água ligada nas paredes celulares é removida, resultando em aproximação das microfibrilas de celulose e consequente redução volumétrica (Stamm, 1964).

Figura 3: Propriedades de contração e inchamento de cavacos de eucalipto



As propriedades de inchamento foram evidenciadas durante o processo de saturação das amostras. O aumento da umidade resultou na expansão das dimensões dos cavacos, fenômeno coerente com o caráter anisotrópico da madeira, cuja magnitude de inchamento varia conforme as direções anatômicas (Glass e Zelinka, 2010). Embora o presente estudo tenha avaliado cavacos, e não corpos de prova padronizados pela NBR 7190 (ABNT, 2022), a tendência observada está em consonância com a literatura que aponta maiores variações dimensionais no sentido tangencial, seguidas do radial e, por fim, do longitudinal (Eloy *et al.*, 2020).

A escolha da temperatura de secagem moderada (50 ± 3 °C) possibilitou um processo controlado, evitando defeitos como fissuras ou colapsos estruturais, comuns quando se aplicam temperaturas mais elevadas. A estabilização das medidas de massa e dimensões ao final do processo sugere que as amostras atingiram o equilíbrio higroscópico, condição fundamental para análises comparativas e determinação das propriedades físicas (Glass e Zelinka, 2010).

4. CONCLUSÃO

A secagem dos cavacos de *Eucalyptus* sp. promoveu uma acentuada perda de massa, acompanhada de elevação expressiva no teor de umidade calculado em base seca, comportamento característico de materiais lignocelulósicos altamente higroscópicos. As análises dimensionais evidenciaram a - relação entre o teor de umidade e as propriedades físicas da madeira.

O protocolo experimental adotado, com saturação prévia e secagem controlada, permitiu uma caracterização precisa das propriedades higroscópicas dos cavacos, evidenciando a importância do controle rigoroso das condições de secagem para a otimização de processos industriais, na prevenção de defeitos estruturais e na melhoria da eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

AMARAL, E. A. **Estimativa da umidade em cavacos de madeira por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7190-3: **Projeto de estruturas de madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas**. Rio de Janeiro, 2022.

ELOY, E.; BANDERA, E.; MANGINI, T.; ZANCHETTA, L. S.; TREVISAN, R.; CARON, B. O.; CANDATEN, L. Influence of drying on the physical and mechanical properties of wood from trees grown in an agroforestry system. *Árvore*, v. 44 e4431, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820200000031>

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. **Moisture Relations and Physical Properties of Wood**. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood handbook: wood as an engineering material*. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 4-1-4-19.

STAMM, A. J. **Wood and Cellulose Science**. New York: Ronald Press, 1964.

TALGATTI, M.; BALDIN, T.; SANTINI, E. J.; ROSSO, S.; OLIVEIRA, L. H.; VALCORTE, G. Secagem da madeira de *Hovenia dulcis* e *Eucalyptus tereticornis* em forno micro-ondas com diferentes potências de temperatura. *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v. 7, n. 3, p. 1121-1128, 2020. doi: <https://doi.org/10.34062/afs.v7i3.10153>

THYBRING, E. E.; FREDRIKSSON, M.; ZELINKA, S. L.; GLASS, S. V. Water in wood: a review of current understanding and knowledge gaps. *Forests*, v. 13, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/f13122051>

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE MEDIÇÕES DE FIBRAS DE MADEIRA

Tatiana de Fátima Martins Pires^{1*}; Ana Carolina de Oliveira¹; Katherine Rodrigues Breder¹; Renata Guilherme Cândido da Silva¹; Josy Tainara Silva Silva¹; Graziela Baptista Vidaurre¹; Jordão Cabral Moulin¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): Tatianamartins785@gmail.com

Resumo: O estudo dos elementos anatômicos fornece informações importantes acerca das características da madeira. Em relação às fibras, alterações na sua anatomia geram variações nas propriedades da madeira. O método de medição por plano transversal das fibras é rápido e preciso. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi comparar as medições das fibras da madeira em lâmina histológica e em fibras individualizadas. Foram utilizadas madeiras de clones de *Eucalyptus* provenientes da empresa Suzano S.A. Para as análises, foi feito o processo de maceração para as análises das fibras por macerado, enquanto para as análises por lâminas histológicas foi utilizado lâminas histológicas de cortes transversais. As medidas do diâmetro do lume das fibras foram iguais nos dois métodos. Os valores da espessura da parede e largura da fibra foram menores pelo método de lâmina histológica, ou seja, este método não é indicado para caracterizar as fibras da madeira, porém demonstra potencial como geoindicador das características das fibras em regiões específicas de interesse no lenho.

Palavras chave: Metodologias Correlacionadas; Mensurações Transversais; Macerado.

COMPARISON BETWEEN METHODS OF MEASURING WOOD FIBERS

Abstract: The study of anatomical elements provides important information about the characteristics of wood. Regarding fibers, changes in their anatomy generate variations in wood properties. The method of measuring fibers using a cross-sectional plane is fast and accurate. Thus, the objective of this study was to compare the measurements of wood fibers in histological slides and in individual fibers. Wood from *Eucalyptus* clones from Suzano S.A. was used. For the analyses, the maceration process was performed for fiber analyses by maceration, while histological slides of cross-sections were used for the analyses by histological slides. The measurements of the lumen diameter of the fibers were the same in both methods. The values of wall thickness and fiber width were lower using the histological slide method, i.e., this method is not indicated for characterizing wood fibers, but it demonstrates potential as a geoindicator of fiber characteristics in specific regions of interest in the wood.

Keywords: Correlated Methodologies; Cross-Sectional Measurements; Macerated.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* possui elevada importância no setor florestal, sendo responsável por suprir grande parte das demandas por madeira no setor industrial. Apesar dos intensos investimentos em melhoramento e clonagem para obter madeiras com qualidade mais homogênea, fatores bióticos, interações genótipo *versus* ambiente e silvicultura influenciam nos processos fisiológicos de formação da árvore. Modificações na fase desses processos geram alterações dos elementos anatômicos em tamanho, quantidade e frequência, influenciando assim nos parâmetros químicos e físicos da madeira (LIMA, 2021).

O estudo de elementos anatômicos fornece informações importantes acerca das características da madeira. Em relação às fibras, elas são elementos anatômicos importantes para serem estudados, pois as alterações em seu diâmetro, comprimento e espessura geram variações na densidade e resistência da madeira, interferindo assim na qualidade do produto final.

As fibras compõem grande parte da estrutura da madeira, desempenhando uma importante função de sustentação mecânica e conferindo resistência ao material. Sua distribuição no lenho fica próxima a elementos anatômicos importantes como vasos, raios e parênquimas.

Realizar medições das fibras no plano transversal permite analisar cada fibra exatamente dentro de uma área de interesse, podendo assim correlacionar a posição da fibra com fatores que podem influenciar na sua variação morfológica e anatômica (HONJO *et al.*, 2006). Pelo método tradicional ou por macerado, as fibras são individualizadas, o que impede a investigação das fibras em relação a região de interesse. Isso acontece porque ao serem maceradas, as fibras se misturam, perdendo-se sua localização anatômica original.

A mensuração de fibras no plano transversal permite obter as dimensões de largura da fibra, diâmetro do lume e espessura de fibras localizadas próximas a elementos de vasos e raios. A partir da obtenção dessas dimensões, as análises transversais das fibras podem auxiliar na investigação das possíveis variações da morfologia das fibras próximas e distantes de vasos e raios, influenciadas por fatores internos e externos à planta (HONJO *et al.*, 2006). Com a sua utilização, permite conhecer características da fibra da madeira e como a planta se comporta ao interagir com fatores externos e internos ao processo de diferenciação na formação da madeira.

O método de medição de fibras por lâmina histológica foi utilizado pelos autores Honjo *et al.*, (2006), Yahya *et al.*, (2011) e Yahya *et al.*, (2015) para analisar fibras de madeira de *Acacia mangium* pelo método transversal. Nesses trabalhos, os autores analisaram o comprimento das fibras em relação à distância dos vasos e contato com raios, além disso, investigaram como a distância dos vasos altera a morfologia das fibras.

Nesse sentido, esse estudo teve como objetivo comparar as medições das fibras da madeira em lâmina histológica e em fibras individualizadas, obtidas pelo macerado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material foi proveniente da empresa Suzano S.A de plantios localizados nos municípios de São Miguel Arcanjo em São Paulo, Nova Viçosa na Bahia e Açailândia no Maranhão. Os clones utilizados foram o *Eucalyptus urophylla* (C1), híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Camaldulensis* (C2), *Eucalyptus urophylla* (C4), híbrido de *Eucalyptus grandis* (C3) e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (C5), todos com 6 anos.

As árvores selecionadas para o trabalho foram identificadas no local e foi estabelecido um diâmetro médio para seleção e marcação das árvores. Foram escolhidas cinco árvores de cada clone, que foram derrubadas e submetidas à cubagem rigorosa, na qual foram retirados discos na posição correspondente ao DAP (diâmetro à altura do peito), com 2,5 cm de espessura. Para as análises anatômicas dos discos de cada madeira, foram retiradas seção radial e da região do alburno foram retirados palitos para a maceração e obtenção das amostras com dimensões de 1,0x1,5x2,0cm, nas direções radiais, tangenciais e longitudinais respectivamente, para confecção de lâminas histológicas.

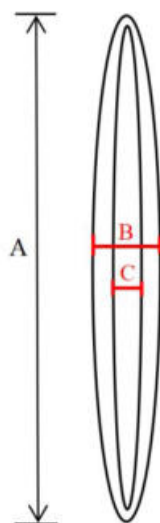
Na análise de fibras pelo método de maceração, após a retirada dos palitos, na seção radial, os palitos foram dispostos em frascos de 25 mL, em solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1). Após esse processo, foram levados para estufa em temperatura de 60 °C, durante 48 horas,

conforme procedimentos propostos por Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987). Posteriormente, foram montadas lâminas temporárias com glicerina. Com a utilização do microscópio, foram feitas 30 medições de comprimento, largura e diâmetro do lume. A espessura da parede (EP) foi determinada pela diferença entre a largura da fibra (LF) e o diâmetro do lume (DL) dividido por 2 conforme a Equação 1.

$$EP = \frac{LF - DL}{2} \quad (1)$$

As medidas nas fibras individualizadas foram realizadas sempre na posição central da fibra em relação ao seu comprimento, como indicado na Figura 1.

Figura 1: Esquemática de uma fibra inteira.



CF= comprimento da fibra; LF= Largura da fibra; DL= Diâmetro do lume.

Para elaboração das lâminas histológicas, foi realizado o amolecimento das amostras em água à ebulição, posteriormente, em um micrótomo de deslize, foram feitos cortes histológicos de 20 μm do plano transversal. Após esse processo, foi feita a retirada da coloração do material por meio da utilização de hipoclorito de sódio 60% aquecido. Com o material, foi feita a coloração do material com safranina, retirou-se posteriormente o excesso do corante com álcool 80% e 20% e logo foram montados em lâminas histológicas temporárias.

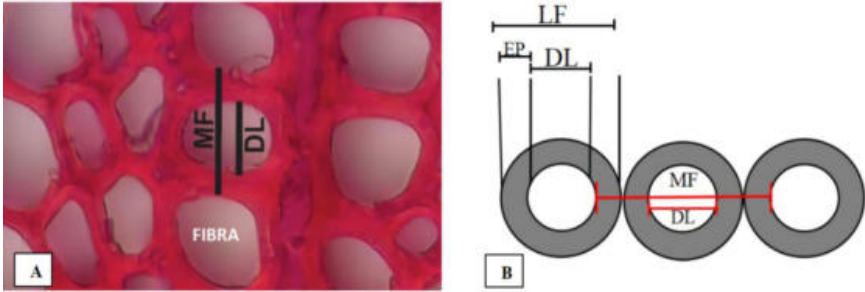
Na análise da espessura da parede, largura da fibra e diâmetro do lume no plano transversal, as medições das fibras foram realizadas por meio do microscópio em aumento de 40 $\times$, no qual foram realizadas medições de dimensões de 50 fibras (repetição) (YAHYA *et al.*, 2015). Para as medições feitas nas fibras em lâminas histológicas, foram usadas duas fibras vizinhas para obtenção das medidas (Figura 2A). Para calcular a largura e espessura da parede, seguiu o método de Abreu Neto *et al.* (2020), utilizando a medição do diâmetro do lúmen (DL) e a medição para cálculos da espessura da parede e espessura da fibra (MF) (Figura 2B), conforme as equações 2 e 3.

$$Ep = \frac{(MF - DL)}{4} \quad (2)$$

$$LF = DL + 2 \times EP \quad (3)$$

Onde EP é a espessura da parede celular (μm), MF é a medição para cálculos da espessura da parede e espessura da fibra (μm), DL é o diâmetro do lúmen (μm) e LF é a largura da fibra (μm).

Figura 2: Medição da fibra na lâmina histológica (A); Fibra cortada ao meio medida transversalmente (B).



LF= Largura da fibra; DL= Diâmetro do lume; EP= Espessura da parede; MF= medição para cálculos da espessura da parede e espessura da fibra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os métodos de medição das fibras foi realizada entre os métodos por lâminas histológicas proposto por Yahya *et al.* (2015) e o método tradicional por maceração (Tabela 1). Com o resultado das análises, pode-se observar que os valores de diâmetro do lume foram iguais nos dois métodos em todas as regiões estudadas, não havendo diferença estatística significativa.

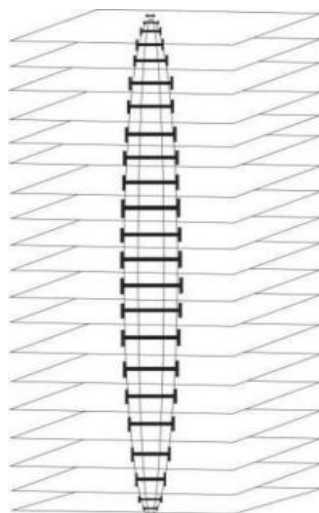
Tabela 1: Dimensões do diâmetro do lume, espessura da parede das fibras e largura da fibra mensurados pelos métodos de maceração e lâmina histológica, dos eucaliptos provenientes dos 3 locais de plantio.

Material genético	Método	Nova Viçosa - BA			São Miguel Arcanjo - SP			Açailândia - MA		
		DL (μm)	EP (μm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	LF (μm)
C2	M	12,92 a	4,12 a	21,18 a	13,06 a	3,98 a	21,03 a	12,18 a	4,80 a	21,79 a
	Lh	12,31 a	2,28 b	16,89 b	13,75 a	2,09 b	17,93 b	11,05 a	2,50 b	16,06 b
C1	M	9,95 a	4,67 a	19,29 a	10,35 a	4,30 a	18,97 a	9,01 a	5,07 a	19,15 a
	Lh	9,44 a	2,44 b	13,11 b	10,48 a	2,44 b	15,37 b	9,41 a	2,53 b	14,47 b
C4	M	11,93 a	4,88 a	21,69 a	12,10 a	4,55 a	21,20 a	9,90 a	5,41 a	20,73 a
	Lh	11,67 a	2,80 b	17,28 b	13,09 a	2,73 b	18,55 b	9,62 a	2,59 b	14,79 b
C5	M	10,67 a	4,92 a	20,53 a	9,80 a	4,37 a	18,55 a	9,40 a	4,36 a	18,16 a
	Lh	10,65 a	2,30 b	15,93 b	9,96 a	2,24 b	14,39 b	8,90 a	2,18 b	13,64 b
C3	M	11,84 a	4,16 a	20,17 a	13,06 a	4,28 a	21,63 a	10,28 a	3,85 a	18,00 a
	Lh	12,17 a	2,19 b	16,57 b	12,09 a	2,54 b	17,18 b	10,74 a	2,44 b	15,64 b

M: Macerado; Lh: Lâmina histológica; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede; LF: Largura da Fibra. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. DL: Diâmetro do lume, EP: Espessura da parede, LF: Largura da fibra.

As fibras medidas em lâmina histológica apresentaram valores inferiores de largura da fibra e espessura da parede celular, quando comparadas as fibras medidas por método tradicional. As medidas em fibras individualizadas são realizadas na região central do seu comprimento, pois essa é que apresenta a maior largura e espessura da parede celular. Essa característica foi observada em fibras de acácia no estudo desenvolvido por Yahya *et al.* (2015). Na Figura 3 é ilustrada a redução da largura e espessura da parede celular.

Figura 3: Esquematização da redução da largura e espessura da parede celular ao longo do comprimento da fibra.



As medidas realizadas nas fibras em lâmina histológica são feitas em diferentes pontos longitudinais das fibras, isto ocasionou redução dos resultados da largura da fibra e espessura da parede celular. O uso do método de medir as fibras em lâminas histológicas não é o indicado para a caracterização das fibras. No entanto, ainda pode ser empregado, dependendo dos objetivos do estudo. Como, por exemplo, na análise da espessura da parede celular da fibra em relação à sua distribuição geográfica em comparação aos demais elementos anatômicos da madeira. Este aspecto foi observado em estudo desenvolvido por Yahya *et al.* (2011), que analisaram o efeito do processo de diferenciação dos vasos na morfologia das fibras da madeira. Abreu Neto *et al.* (2020) usaram o método de avaliar a fibra em lâmina histológica para conseguir medir a variação das dimensões das fibras após o processo de carbonização da madeira.

4. CONCLUSÃO

As medidas do diâmetro do lume das fibras foram iguais tanto pelo método por maceração quanto pelo método por lâmina histológica.

Os valores da espessura da parede e largura da fibra foram menores pelo método de lâmina histológica. Este método não é indicado para a caracterização de fibras, porém demonstrou potencial como geoindicador das características das fibras, podendo auxiliar em análises de fibras em regiões específicas de interesse no lenho.

REFERÊNCIAS

ABREU NETO, R. de; LIMA, J. T.; TAKARADA, L. M.; TRUGILHO, P. F. Effect of thermal treatment on fiber morphology in wood pyrolysis. **Wood Sci. Technol**, v. 55, p. 95–108, 2020. DOI: 10.1007/s00226-020-01238-6.

HONJO, K.; OGATA, Y.; FUJITA, M. Introduction and verification of a novel method for measuring wood fiber length using a single cross section in *Acacia mangium*. **Trees**, v. 20, p. 356-362, 2006.

LIMA, P. A. F. Características anatômicas e suas influências nas propriedades da madeira: um referencial teórico. In: MADEIRAS NATIVAS E PLANTADAS DO BRASIL: QUALIDADE, PESQUISAS E ATUALIDADES-VOLUME 2. **Editora Científica Digital**, 2021. p. 14-31.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras.** Viçosa. UFV. p. 4, 1987.

YAHYA, R.; KOZE, K.; SUGIYAMA, J.. Fibre length in relation to the distance from vessels and contact with rays in *Acacia mangium*. **Iawa Journal**, v. 32, n. 3, p. 341-350, 2011.

YAHYA, R.; SUNDARYONO, A.; IMAI, T.; SUGIYAMA, J. Distance from vessels changes fibre morphology in *Acacia mangium*. **IAWA journal**, v. 36, n. 1, p. 36-43, 2015.

INFLUÊNCIA DA AMOSTRA DE MADEIRA DE EUCALIPTO NA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA: UMA REVISÃO

Gustavo Jaske da Conceição^{1*}; Stéffany de Lima Araujo¹; Vaniele Bento dos Santos¹; Érica Patrícia Pinto Queiroz¹; Thayanne Caroline Castor Neto¹; Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde¹; Udson de Oliveira Barros Júnior¹; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): gustavojaske@gmail.com

Resumo: A densidade básica pode variar conforme o método de amostragem e entre espécies/clones diferentes, o que influencia diretamente a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. O objetivo deste trabalho foi revisar a influência das diferentes amostras (Discos, cunhas, baguetas e cavacos) de madeira nos resultados da densidade básica. Foram utilizados diferentes bancos de dados como *Scopus*, *Web for Science*, *Google Scholar* e *ResearchGate*, em busca de trabalhos de pesquisa relacionados a variação da densidade básica da madeira em virtude da amostra utilizada. Os resultados mostram que a densidade básica da madeira varia com o tipo de amostra e com a espécie/clone. As densidades obtidas por discos e cavacos são geralmente semelhantes, mas cavacos revelaram variações mais sutis. Baguetas apresentaram uma média mais uniforme. A escolha do método de amostragem, a posição no fuste e o tipo de amostra são essenciais para obter medidas precisas e representativas da densidade básica da madeira.

Palavras chave: Amostragem; Floresta plantada; Qualidade da madeira.

INFLUENCE OF EUCALYPTUS WOOD SAMPLE ON DETERMINATION OF BASIC DENSITY: A REVIEW

Abstract: Basic density can vary depending on the sampling method and between different species/clones, which directly influences the accuracy and reliability of the results obtained. The objective of this study was to review the influence of different wood samples on basic density results. Different databases such as *Scopus*, *Web for Science*, *Google Scholar* and *ResearchGate* were used to search for research papers related to the variation in basic density of wood due to the sample used. The results show that basic density of wood varies with the type of sample and with the species/clone. The densities obtained by discs and chips are generally similar, but chips revealed more subtle variations. The choice of sampling method, position on the stem and type of sample are essential to obtain accurate and representative measurements of basic wood density.

Keywords: Sampling; Planted forest; Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

A densidade básica da madeira é uma característica fundamental que influencia diversas propriedades tecnológicas e de uso da madeira. A determinação precisa dessa propriedade é crucial para a indústria florestal, especialmente para o setor de celulose e papel, no qual a densidade básica está diretamente relacionada à qualidade do produto final. A densidade básica é definida como a relação entre a massa seca da madeira e seu volume saturado, sendo uma medida que reflete a compactação das fibras e a quantidade de espaço poroso no material.

Diversos métodos de amostragem e técnicas de medição são empregados para determinar a densidade básica da madeira. Entre os métodos mais comuns estão o uso de discos, cunhas, cavacos, e técnicas não destrutivas como o Resistógrafo, Pilodyn e a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS). Cada método possui suas vantagens e limitações, o que influencia diretamente a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos (Gouvêa *et al.*, 2011).

A utilização de diferentes tipos de amostras, como cavacos e cunhas, leva a resultados distintos. A densidade medida em cavacos, por exemplo, fornece uma média representativa da densidade básica ao longo de toda a árvore, enquanto a densidade medida em discos pode refletir apenas a densidade em uma altura específica (Santos *et al.*, 2009). Embora os métodos não diferenciem significativamente entre si quando aplicados em diferentes alturas, diferenças estatísticas significativas podem ser observadas quando comparados em cavacos (Padula, 2013).

A importância de uma avaliação precisa da densidade básica reside não apenas na produção de celulose, mas também em outras aplicações industriais da madeira, como a construção civil e a produção de biocombustíveis. A variabilidade na densidade básica pode afetar a resistência mecânica, a durabilidade e a eficiência energética da madeira, o que torna essencial a escolha do método de determinação e da amostra adequada para cada aplicação específica (Gomide *et al.*, 2005).

Com o intuito de contribuir para o avanço do conhecimento na área e fornecer subsídios para a escolha de metodologias mais adequadas em pesquisas futuras, o objetivo deste trabalho foi revisar a influência das diferentes amostras de madeira nos resultados da densidade básica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão semisistemática ou narrativa, na qual foram explorados diferentes bancos de dados como *Scopus*, *Web for Science*, *Google Scholar* e *ResearchGate*, em busca de trabalhos de pesquisa relacionados a variação da densidade básica da madeira em virtude da amostra utilizada.

As palavras-chave usadas durante a pesquisa de informações foram: “densidade”, “densidade basica”, “densidade basica da madeira”, “amostras de madeira”, “trado motorizado”, “discos”, “discos de madeira”, “cunhas”, “cunhas de madeira”, “cunhas opostas”, “baguetas”, “baguetas de madeira”, “cavacos”, “cavacos de madeira”, “eucalipto”, “pinus”, “pinheiro” e “*Corymbia*”. Essas palavras foram escritas nas plataformas de buscas tanto na Língua Portuguesa, quanto em Inglês.

As restrições quanto ao ano de publicação foram de 2004 a 2024. Foram encontrados um total de 824 documentos nas bases de dados, entre eles artigos, capítulos, artigos de revisão e trabalhos acadêmicos. Entretanto, eles foram reduzidos a um artigo de periódico, duas dissertações e três teses, com base nos critérios de tema, título e objetividade. O grande número de trabalhos encontrados na busca inicial, se deve ao fato de as plataformas terem apresentado trabalhos que estudaram a densidade básica da madeira com pelo menos uma das amostras citadas, não especificamente a comparação entre elas. Eles foram então analisados usando análise qualitativa para identificar, analisar e relatar padrões na forma de temas em um texto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os seis trabalhos selecionados para discussão abordam diferentes amostras de madeira utilizadas na determinação da densidade básica (Tabela 1). A quantidade limitada de estudos é um indicativo de que, embora o tema seja relevante, ainda há uma lacuna significativa na literatura

científica quanto à comparação sistemática de métodos de amostragem para determinação da densidade básica da madeira.

Tabela 1: Informações acerca dos trabalhos selecionados para discussão.

Amostras	Código	Espécies	Idade (anos)	Procedência	Árvores/clone	Referências
Cunhas e baguetas	C1	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	MG	50	Padua (2009)
Discos e cavacos	C2	<i>E. grandis</i>	3	MG	5	Gouvêa <i>et al.</i> (2011)
	C3	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>				
	C4	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>				
	C5	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>				
	C6	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>				
Discos e cavacos	C7	<i>E. grandis</i>	6	SP	10	Padula (2013)
	C8	<i>E. grandis</i>				
Discos e cavacos	C9	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	MS	10	Segura (2015)
	C10	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>				
	C11	<i>C. citriodora</i>				
	C12	<i>C. citriodora</i>				
	C13	<i>C. torelliana</i>				
	C14	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>				
	C15	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>				
	C16	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>				
	C17	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>				
Cunhas e cavacos	C18	<i>P. maximinoi</i>	14	PR	5	Coelho (2017)
	C19	<i>P. taeda</i>				
Cunhas e cavacos	C20	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	5	AM	7	Coelho (2021)
	C21	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i>	8		10	
	C22	<i>E. urophylla</i>	7		10	
	C23	<i>E. grandis</i>	5		7	
	C24	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	9		7	
	C25	<i>E. grandis</i>	5		5	

As espécies mais frequentemente utilizadas nos estudos são híbridos de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*, além de espécies de *Corymbia* e *Pinus*. A escolha dessas espécies se justifica por sua ampla utilização na indústria florestal e pela variação natural significativa em suas características anatômicas e densidade, o que as torna modelos ideais para estudos comparativos (Gomide *et al.*, 2005).

Os tipos de amostras mais recorrentes nos estudos são discos e cavacos, seguidos por cunhas e baguetas. Os discos são preferidos por fornecerem uma representação clara da variação radial e longitudinal da densidade na árvore, enquanto os cavacos são utilizados por sua facilidade de obtenção e representatividade média da densidade da árvore inteira (Padula, 2013).

Além disso, os cavacos de madeira são amplamente utilizados na indústria florestal e em diversos processos industriais devido à sua versatilidade e eficiência. Sua utilização se estende principalmente às indústrias de celulose e papel, bioenergia, e também na fabricação de painéis de madeira, como *Medium Density Fiberboard* (MDF) e *Oriented Strand Board* (OSB).

São observadas variações significativas na densidade básica que podem ser atribuídas tanto ao tipo de amostra quanto às características intrínsecas das espécies, chegando a mais de 100 Kg m⁻³ em algumas situações (Figura 1). Essas variações são ainda mais evidentes ao comparar amostras de discos com cavacos, o que indica que a escolha da amostra pode impactar diretamente os resultados obtidos (Gouvêa *et al.*, 2011).

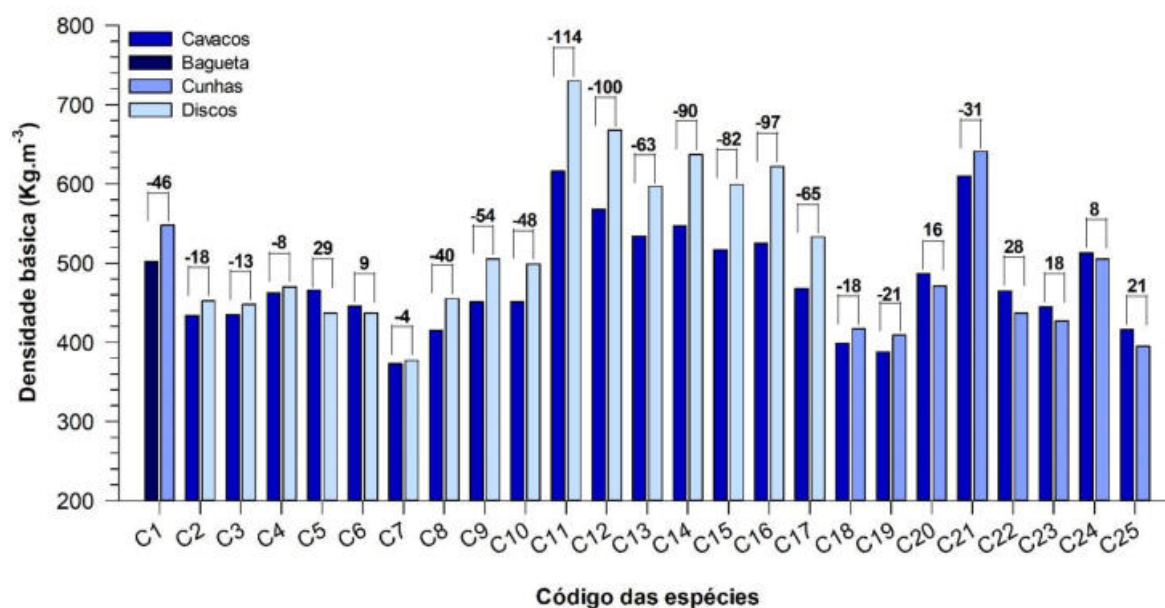


Figura 1: Densidade básica em diferentes amostras de madeira.

Valores em negrito dentro da área de plotagem do gráfico correspondem a diferença absoluta (Kg m⁻³) entre a densidade básica determinada em cada amostra.

Os discos tendem a apresentar maior variação radial e longitudinal na densidade básica, pois representam melhor a variação natural da densidade ao longo do eixo do tronco, o que reflete a heterogeneidade anatômica da madeira (Gouvêa *et al.*, 2011). Os cavacos, por outro lado, fornecem uma média representativa da densidade ao longo de toda a árvore. Eles são especialmente úteis para estudos que requerem uma avaliação global da densidade da madeira, pois incluem material de várias partes da árvore, minimizando a variação localizada (Padula, 2013). Algumas espécies tendem a subestimar a densidade básica dos cavacos em relação a demais amostras.

A densidade medida em cunhas é influenciada por fatores como a posição de corte e a orientação das fibras, o que pode introduzir variações significativas nos resultados. As baguetas são amostras úteis para estudos que necessitam de uma avaliação da densidade, porém são requeridos métodos não destrutivos, mas, assim como as cunhas, podem não refletir a densidade média da árvore inteira (Coelho, 2017).

O gênero *Eucalyptus* apresentou uma variabilidade significativa entre as diferentes amostras, especialmente entre discos e cavacos. As diferenças podem ser atribuídas à variação anatômica ao longo do tronco e à forma como as amostras são coletadas e processadas. Em adição, as espécies de *Corymbia* também resultaram em uma variabilidade considerável, com discos e cunhas apresentando maiores variações. Isso ocorre devido às diferenças anatômicas entre espécies puras e híbridos e à distribuição não uniforme da densidade ao longo do tronco. As coníferas avaliadas apresentaram a menor variabilidade entre os gêneros analisados, o que pode ser explicado pela menor heterogeneidade anatômica e pela uniformidade nas condições de crescimento e manejo florestal.

Ao avaliar a densidade básica obtida por meio de cunhas e baguetas de *E. grandis* x *E. urophylla* com 6 anos de idade, Pádua (2009) concluiu que houve diferença significativa entre essas densidades. As cunhas capturaram melhor a variação radial e apresentaram maiores valores de densidade na base do tronco, enquanto as baguetas forneceram uma média mais uniforme ao longo do tronco. Em um estudo com 5 clones de *Eucalyptus* sp. aos 3 anos de idade, coletadas em diferentes

regiões do estado de Minas gerais, (Gouvêa *et al.*, 2011) concluiu que a densidade dos discos de madeira do DAP e as densidades determinadas por cavacos, foram bastante semelhantes em todos os clones, com diferenças de apenas 0,004-0,029 g cm⁻³, ou seja, 1 a 6%. Os autores ainda verificaram ao final, uma baixa correlação (30%) entre as duas técnicas, mostrando que a densidade básica na altura do DAP não prediz, com precisão aceitável, a densidade média da árvore.

Em um estudo com um clone de *E. grandis* com densidade baixa e um de *E. grandis* x *E. urophylla* com maior densidade, aos 6 anos, utilizando discos e cavacos (Padula, 2013), concluiu-se, que não houve diferença estatística significativa entre os métodos de determinação de densidade básica aplicados para as árvores dos dois clones, pelo método do máximo teor de umidade (MTU).

Ao avaliar sete diferentes materiais genéticos do gênero *Corymbia*, com diferentes idades, Segura (2015) pode concluir, que a variação base-topo de discos de todas as espécies e híbridos avaliados possuem densidade básica mais elevada na base, e maiores valores médios de densidade encontrados para os clones de *C. citriodora*. Os resultados de densidade básica dos cavacos seguem os resultados observados para a densidade básica dos discos, ou seja, os materiais da espécie *C. citriodora* são os que apresentam maior densidade básica dentre os materiais avaliados.

Em densidades de *P. maximinoi* e *P. taeda*, com 14 anos de idade, as cunhas e cavacos avaliados por Coelho (2017), demonstraram maiores valores para a espécie *P. maximinoi* quando comparada à madeira de *P. taeda*. As densidades básicas médias obtidas para as cunhas não apresentaram diferenças entre as espécies, já para os cavacos, apresentaram diferença estatística entre si, com uma diferença inferior de 4,5 e 5,4% quando comparadas aos resultados de cunhas.

4. CONCLUSÃO

Diferenças significativas foram observadas entre densidades medidas com cunhas e baguetas. Cunhas mostraram maior variação radial e valores de densidade mais altos na base do tronco, enquanto baguetas apresentaram uma média mais uniforme.

A densidade básica pode variar conforme o método de amostragem (cunhas, baguetas, discos, cavacos) e entre espécies e clones diferentes. Métodos específicos e a posição da amostra no fuste influenciam os resultados, sendo que alguns métodos e espécies/clones apresentam maior variação longitudinal e diferenças estatísticas significativas.

REFERÊNCIAS

- COELHO, M. U. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose Kraft**. 2017. 91 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- COELHO, M. U. **Impacto da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* na eficiência dos processos de polpação Kraft estendidos**. 2021. 135 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- GOVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 99 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PADULA, R. R. **Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira**. 2013. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

SANTOS, R. B.; GOMIDE, J. L.; SOUSA, L. C. Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 759-767, 2009.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando a produção de celulose Kraft branqueada**. 2015. 198 p. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

PROPRIEDADES DA MADEIRA E SUA INTERFACE COM O PLANEJAMENTO FLORESTAL

VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE CLIMA TEMPERADO AO INTEMPERISMO NATURAL EM CLIMA TROPICAL

Kamilly da Silva Pereira¹; Saulo José da Costa Lima¹; Lukas Emmerich²; Christian Brischke³ Djeison Cesar Batista^{1*}

¹ Department of Forest and Wood Sciences, Federal University of Espírito Santo, Brazil

² Wald und Holz NRW, Centre of Forest and Wood Industry, Team Wood-Based Industries, Olsberg, Germany.

³Thünen Institute for Wood Research, Germany.

*Corresponding author (e-mail): djeison.batista@ufes.br

Resumo:

Este estudo avaliou o desempenho da umidade de quatro espécies de madeira de clima temperado (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Robinia pseudoacacia*) expostas ao intemperismo natural em condições de clima tropical (Aw) em Jerônimo Monteiro – Espírito Santo, no período de 20 de março de 2023 a 19 de março de 2024. Foram ensaiadas amostras com entalhe e sem entalhe. Nos três primeiros meses a umidade da madeira foi monitorada duas vezes por semana, com intervalo mínimo de dois dias. A partir do quarto mês, foram realizadas a cada quatro semanas. Ao final do ensaio, a umidade foi determinada pelo método gravimétrico. A umidade da madeira variou mensalmente entre as espécies analisadas. A maior umidade foi verificada no alburno de *P. sylvestris*, ao passo que a menor variação de umidade ocorreu na *R. pseudoacacia*. Ao comparar corpos de prova com e sem entalhe, observou-se que o entalhe não influenciou significativamente na umidade de *P. abies*, alburno de *P. sylvestris* e *R. pseudoacacia*. No entanto, para o cerne de *P. sylvestris*, a madeira sem entalhe teve o dobro da umidade da madeira entalhada. Na prática, esse efeito do entalhe pode influenciar a higroscopicidade da madeira e deve ser levado em conta no *design* de produtos de madeira em serviço em ambientes externos.

Palavras chave: Higroscopicidade; *Picea abies*; *Pinus sylvestris*; *Fagus sylvatica*; *Robinia pseudoacacia*; entalhe.

MOISTURE CONTENT VARIATION OF TEMPERATE-CLIMATE WOODS UNDER NATURAL WEATHERING IN TROPICAL CLIMATE

Abstract: This study evaluated the moisture performance of four temperate-climate wood species (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Robinia pseudoacacia*) exposed to natural weathering under tropical climate conditions (Aw) in Jerônimo Monteiro – Espírito Santo, Brazil, from March 20, 2023, to March 19, 2024. We tested notched and unnotched specimens. During the first three months, wood moisture content was monitored twice a week, with a minimum interval of two days. From the fourth month onward, measurements were taken every four weeks. At the end of the test, moisture content was determined using the gravimetric method. Wood moisture content varied monthly among the analyzed species. The sapwood of *P. sylvestris* had the highest moisture content, while *R. pseudoacacia* showed the lowest variation. Comparing notched and unnotched specimens, it was observed that notching did not significantly affect the moisture content of *P. abies*, the sapwood of *P. sylvestris*, or *R. pseudoacacia*. However, for the heartwood of *P. sylvestris*, unnotched wood had twice the moisture content of notched wood. In practice, this effect of notching can influence the permeability of wood and should be considered when designing products intended for outdoors.

Keywords: Hygroscopicity; *Picea abies*; *Pinus sylvestris*; *Fagus sylvatica*; *Robinia pseudoacacia*; notching.

1. INTRODUCTION

Moisture content plays a key role in wood performance in service, since it affects its physical and mechanical properties, as well as its risk for decay. The high levels of relative humidity, solar radiation, and rain in tropical climates can accelerate the decay process of wood, making the selection of species and the adoption of appropriate practices essential. Additionally, climate change can influence wood performance, requiring continuous research and the development of adaptation strategies to mitigate the impacts of moisture on its service life.

The durability of wood products in outdoor environments primarily depends on the natural resistance of the wood against decay organisms and moisture (Emmerich et al., 2020). Among the main outdoor uses are decks, flooring, wood structures, cladding, fence posts, and garden furniture. In general, these products are exposed to adverse environmental factors, making it essential to understand their ability to withstand different weathering conditions (Souza et al., 2019).

This study aimed at evaluating the moisture performance of temperate-climate wood species exposed to weathering in a tropical climate.

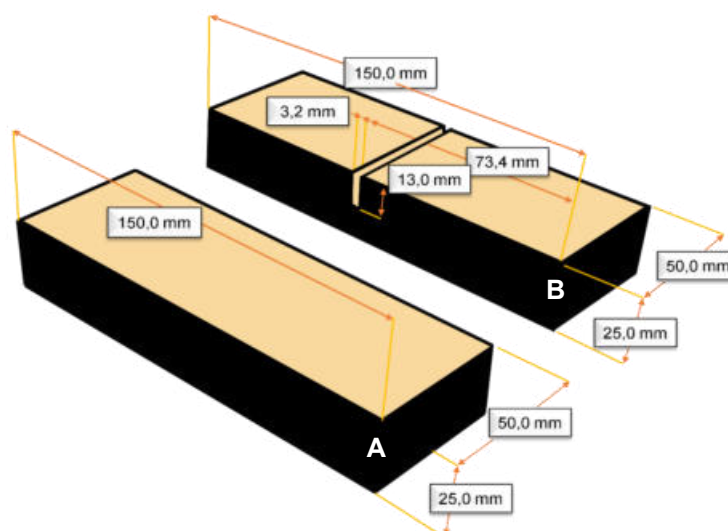
2. MATERIAL AND METHODS

The wood used in this study was obtained from the project "International Joint Field Trial on the Moisture Performance of Wood" (Brischke et al., 2024). We tested *Picea abies* (no identification regarding heartwood and sapwood), *Pinus sylvestris* (100% heartwood and 100% sapwood), *Fagus sylvatica* (100% sapwood), and *Robinia pseudoacacia* (100% heartwood).

Ten specimens were produced with a circular saw, five unnotched and five notched (Figure 1) for each wood species, where the notches allowed for rainwater penetration through the end grain of the wood. The specimens were weighed and then sealed on the sides and tops with polyurethane (Sikaflex® 221i, Sika, Austria). After that, the specimens were weighed again to determine the amount of polyurethane applied to each specimen.

The performance test was carried out for 12 months, from March 20, 2023, to March 19, 2024, in the municipality of Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brazil (latitude 20°47'24"S, longitude 41°23'20"W, altitude 120 m). The specimens grouped per species, flatwise, on a metal table (80 cm high from the ground); the top of the table was made of a metal net, allowing the precipitation to reach the ground. The table was large enough to permit the specimens not to touch each other. Moisture content monitoring of the wood was carried out weekly during the first four months of testing; subsequently, measurements were taken at four-week intervals. At the end of the test, the moisture content of the specimens was calculated using the gravimetric method according to the standard D 4442-20 (American Society for Testing and Materials, 2020).

Figure 1: Test specimens - unnotched (A) and notched (B) specimens.



During the test, the mean air temperature was 26 °C, with the lowest value recorded in July (22.2 °C) and the highest in March (29.1 °C). As for precipitation, the total annual volume amounted to 969 mm, respectively, with June (1.52 mm) and February as the driest and wettest (173 mm) months, respectively. These results are consistent with the region's typical climate, classified as Aw (tropical with dry winter), according to INCAPER (2020).

For every species, the effect of notching on moisture content was compared using a Student t-test (95% confidence level).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the monthly variation of wood moisture content for the analyzed species throughout the 12 months of exposure. In this case, the data of notched and unnotched specimens were pooled.

The lowest and highest moisture content peaks were verified in December and January, respectively. Summer started in December (22nd) and ended in March (20th) during the test, and is characterized as the hottest and rainiest season. Although December had a high amount of rain (90.17 mm), it was also a hot month (28.3 °C); January (28.2 °C) was as hot as December, but much rainier (143.01 mm). At this point of testing, we carried out only one measurement per month, which might have coincidentally occurred on a hot and dry period in December and on a rainy one in January. For further studies, we suggest improving the frequency of measurements.

In general, *Pinus sylvestris* sapwood had the highest moisture content levels throughout the months, followed by *Fagus sylvatica*. This result can be related to a higher permeability of these materials, since they were the ones in which sapwood was tested. Remarkably, *Pinus sylvestris* sapwood had the highest moisture content range (22.2 percentage points), which can lead to poor performance in service due to dimensional instability (shrinkage and swelling), resulting in cracks and warpings. On the other hand, the materials where heartwood was tested (*Robinia pseudoacacia* and *Pinus sylvestris*) had the lowest mean moisture contents as well as the lowest ranges. *R. pseudoacacia* had the lowest range, with only 3.1 percentage points, indicating a very impermeable wood, which can lead to good performance regarding dimensional stability and durability.

Figure 2: Monthly variation of moisture content of different species and equilibrium moisture content of the environment.

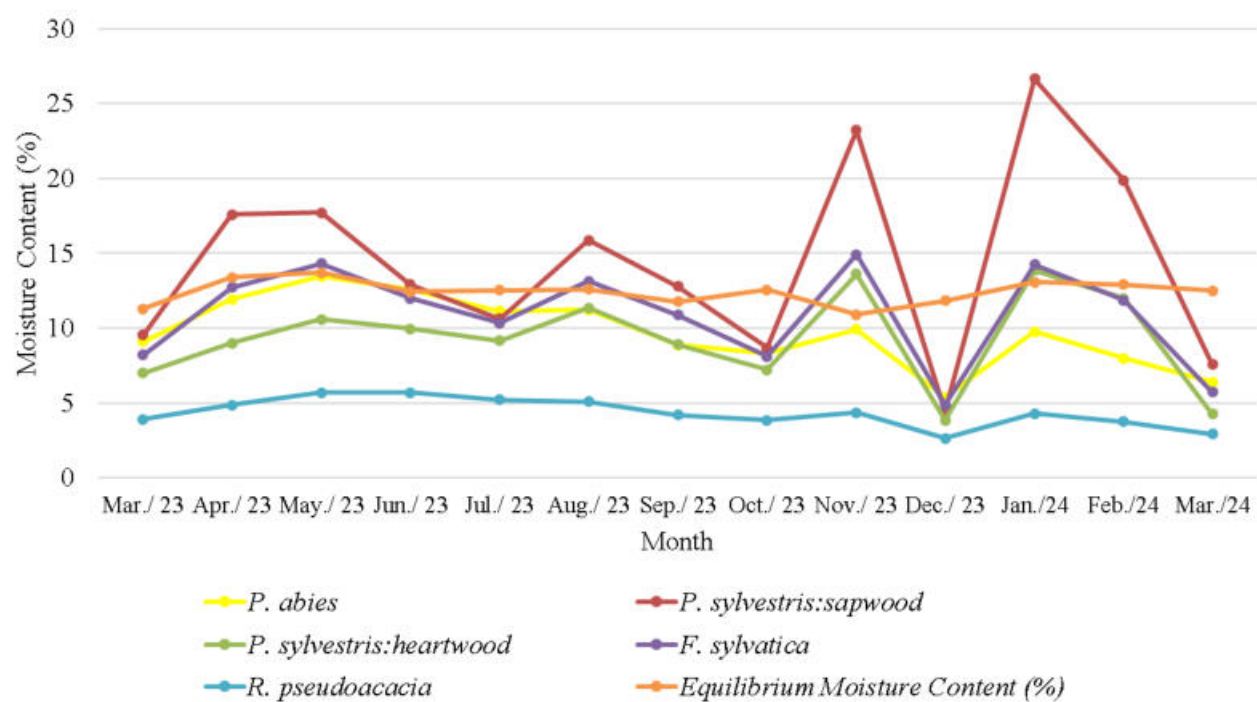


Table 1 presents the results of the influence of notching on wood moisture content. Notching had no significant effect on the moisture content of *P. abies*, *P. sylvestris* sapwood, and *F. sylvatica*. Remarkably, these are the most permeable materials we tested, as discussed before.

Regarding *R. pseudoacacia*, although the difference was statistically significant, the absolute difference between the means was only 1.1 p.p., which may be considered negligible from a practical standpoint. It reinforces the aspect of low permeability as discussed for the data presented in Figure 1.

However, for *P. sylvestris* heartwood, the moisture content of the unnotched wood was twice as high as that of the notched wood, indicating an expressive effect of notching on this material. This information must be taken into consideration regarding manufacturing aspects of products with this material for outdoor use, since in this testing the notches simulated rainwater penetration through the end grain.

Table 1: Effect of notching on wood moisture content.

Species	Moisture content [†] (%)		tc	P-value
	Unnotched	Notched		
<i>Picea abies</i>	10.04a (23.31)	9.35a (25.99)	0.74	0.4687 ^{ns}
<i>Pinus sylvestris</i> (heartwood)	12.40 a (44.19)	6.19 b (35.86)	3.78	0.0009*
<i>Pinus sylvestris</i> (sapwood)	13.77a (37.62)	15.07a (51.89)	-0.50	0.62 ^{ns}
<i>Fagus sylvatica</i>	9.88a (23.17)	11.86a (37.27)	0.45	0.65 ^{ns}
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3.80 b (22.37)	4.90 a (21.84)	-2.90	0.008*

† Means refer to five specimens measured 37 times. Means followed by the same lowercase letter in a line do not differ significantly according to Student's t-test. n.s. and *: respectively non-significant and significant at the 5% level. Results in parentheses are the coefficient of variation (%). tc: t-test statistics.

4. CONCLUSIONS

Pinus sylvestris sapwood showed the poorest moisture performance, with the widest fluctuations in moisture content. In contrast, the heartwood exhibited the best performance, maintaining more stable moisture levels. *Robinia pseudoacacia* had the narrowest range of moisture variation.

The effect of notching was significant only for heartwood material, and the worst performance was verified for *P. sylvestris*.

Overall, permeability seems to be a key factor regarding moisture content performance of wood exposed outdoors, which will demand further investigation for the tested material.

REFERENCES

ASTM D-4442-92, 1997: Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials.

BRISCHKE, C. et al. International joint field trial on the moisture performance of wood – Set up and first results. The International Research Group On Wood Protection. Paper prepared for the IRG55 Scientific Conference on Wood Protection. Knoxville, Tennessee, USA, 19 - 23 May, 2024.

EMMERICH, L., BRISCHKE, C., SIEVERT, M., SCHULZ, M. S., JAEGER, A. C., BEULSHAUSEN, A., HUMAR, M (2020): Predicting the outdoor moisture performance of wood based on laboratory indicators. **Forests**, 11(9), 1001.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Proater 2020 – 2023) - Jerônimo Monteiro. Vitória, ES: Incaper, 2023.

SOUZA, A. P. A. P., MOTA, L. L., CASAVECCHIA, B. H., STANGERLIN, D. M., MELO, R. R. (2019). Annual variation of the equilibrium moisture content and the color of Amazonian woods submitted to field trials. **Revista Ciência da Madeira**, 10(3), 223–235.

ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL DE CLONES DE EUCALIPTO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Jovita Oliveira Dantas¹, Carlos Roberto Sette Junior¹, Macksuel Fernandes da Silva¹, Arthur Pedro Alves Fernandes¹, Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹, Gabriel Almeida Bastos¹, Jhonatan Willian Moreira^{1*}, Gustavo Strack Júnior Pereira¹;

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): jwm.forest@gmail.com

Resumo: O Brasil possui 7,6 milhões de hectares cultivados com eucalipto, destacando-se pela alta produtividade média de madeira. Neste estudo, avaliaram-se cinco clones de *Eucalyptus* spp., sendo eles: A (*E. urophylla* x *E. grandis*), B (*E. urophylla* x *E. grandis*), C (*E. urophylla*), D (*E. urophylla* x *E. grandis*), e (*E. urophylla* x *E. grandis*) em sistema integrado para identificar o mais adequado à produção de carvão vegetal. A madeira foi seccionada em discos coletados em diferentes alturas do tronco (base, DAP, 25%, 50%, 75% e topo), processada em cunhas, seca em estufa e carbonizada em mufla laboratorial. Os carvões foram submetidos a análises imediatas (umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas), seguindo as normas NBR 7180, ASTM E872-82 e ASTM D1102- 84.34. Os clones C e D foram os de maior destaque, sendo que a análise imediata se mostrou insuficiente para selecionar o melhor material.

Palavras-chave: Madeira, cinzas, voláteis, carbono fixo.

ENERGY CHARACTERISTICS OF CHARCOAL FROM EUCALYPTUS CLONES IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS

Abstract: Brazil has 7.6 million hectares cultivated with eucalyptus, standing out for its high average wood productivity. In this study, five *Eucalyptus* spp. clones were evaluated in an integrated system to identify the most suitable for charcoal production. The wood was sectioned into disks collected at different trunk heights (base, DBH, 25%, 50%, 75%, and top), processed into wedges, oven-dried, and carbonized in a laboratory muffle furnace. The charcoal underwent proximate analyses (moisture, volatile matter, fixed carbon, and ash content), following the standards NBR 7180, ASTM E872-82, and ASTM D1102-84.34. Clones C and D were the most notable, though the proximate analysis proved insufficient to select the best material.

Keywords: Wood, ash, volatiles, fixed carbon.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto destaca-se como a principal espécie arbórea em cultivos integrados no Brasil, com 7,6 milhões de hectares cultivados dentre os 9,94 milhões de áreas florestais plantadas (IBA, 2023). O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália, compreende cerca de 730 espécies, sendo apenas 20 cultivadas comercialmente em larga escala. As espécies mais relevantes para uso comercial incluem *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. viminalis*, além de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Na região Sul do Brasil, *E. dunnii* e *E. benthamii* destacam-se como variedades adaptadas às condições locais (Lopes et al., 2021; Pinto Junior et al., 2014).

Este componente florestal é economicamente estratégico, fornecendo matéria-prima para indústrias (siderurgia, papel/celulose, bioenergia) e contribuindo para a conservação ambiental (SNIF, 2020). Neste contexto, o estudo avaliou parâmetros energéticos via análise química imediata dos carvões vegetais de clones de eucalipto em sistemas agroflorestais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo analisou clones de eucalipto em um experimento implantado em 2018 em Morrinhos-GO, em colaboração com instituições como o Instituto Federal Goiano, Embrapa e Universidades Federais de Goiás e de Lavras. O sistema integrado de produção utilizou um delineamento de blocos casualizados com 40 tratamentos (clones), 6 repetições e 5 plantas por parcela (espaçamento 4 × 10 m). Em 2022, foram coletadas amostras de madeira de 5 clones de *Eucalyptus* spp. com 5 anos de idade, selecionados pelos maiores incrementos médios anuais (IMA). De cada clone, 5 árvores representativas foram cortadas, totalizando 25 árvores para análise.

Para avaliação das características energéticas dos carvões vegetais, foram selecionadas 25 árvores (5 exemplares por clone) de *Eucalyptus* spp. cultivadas em sistema integrado (Tabela 1).

Tabela 1. Códigos de Identificação e Espécies/Híbridos Selecionados para Produção de Carvão Vegetal.

Código do clone	Espécie/híbrido
A	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
B	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
C	<i>E. urophylla</i>
D	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
E	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>

As amostras foram coletadas através de seccionamento longitudinal do tronco em seis posições estratégicas: base (0% da altura), DAP (diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% da altura comercial e topo (100% da altura comercial, correspondendo a diâmetro mínimo de 6 cm), totalizando 150 unidades amostrais.

O processamento das amostras seguiu protocolo padronizado, iniciando pela secagem em estufa para eliminação completa da umidade, seguida de carbonização em forno mufla com taxa de aquecimento controlada (1,67°C/min) até 450°C, temperatura mantida por 30 minutos para fixação do carbono, conforme metodologia de Silva et al. (2018). Após carbonização, as amostras permaneceram em repouso por 24 horas para resfriamento gradual. Para as análises laboratoriais, o carvão foi triturado e classificado granulometricamente, selecionando-se a fração que passou em peneira de 60 mesh (250 µm) para garantir homogeneidade. Todos os procedimentos analíticos foram executados em triplicata, com rigoroso controle das condições ambientais durante as medições e utilização de materiais de referência para calibração dos equipamentos.

O teor de umidade foi obtido através da Equação 1 de acordo com a norma NBR 7180, com o peso inicial em temperatura ambiente e o peso final com a amostra seca em estufa a 105 °C até manter o peso constante.

$$U(\%) = \frac{m1-m2}{m1} * 100$$

Equação 1

Em que: U: Teor de umidade do material (%) m1: Peso inicial da amostra antes da secagem (em gramas). m2: Peso final da amostra após a secagem (em gramas).

O teor de materiais voláteis foi determinado de acordo com a norma ASTM E872-82. Para isso, cada cadinho e respectiva tampa foram pesados previamente para obter a massa inicial. Em seguida aproximadamente 1,0 g do material já carbonizado foi adicionado aos cadinhos, que foram levados à mufla a 900°C. O aquecimento foi realizado por um total de 10 minutos, sendo os 3 primeiros minutos com a porta do forno aberta e os 7 minutos seguintes com a porta fechada. Após, os cadinhos foram resfriados em dessecador por 30 minutos e pesados em temperatura ambiente. Para calcular o teor de voláteis foi utilizado a Equação 2

$$MV(\%) = \frac{Mi - Mf}{Ma} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: MV: Teor de materiais voláteis do material (%) Mi: Massa inicial do cadinho + amostra (g) Mf: Massa final do cadinho + amostra (g) Ma: Massa da amostra (g).

A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com a norma ASTM D1102- 84.34. Os cadinhos foram pesados e, em seguida, e adicionou-se aproximadamente 1,0g do material. Os cadinhos, sem a tampa foram adicionados a mufla a 600°C durante cinco horas. Em seguida, foram resfriados em dessecador e pesado em temperatura ambiente, o teor de cinzas foi calculado com a Equação 3.

$$CZ (\%) = \frac{Mf - Mc}{Ma} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que: CZ: Teor de cinzas no carvão (%) Mf: Massa final do cadinho + amostra (g) Mc: Massa do cadinho (g) Ma: Massa da amostra (g).

O teor de carbono fixo é uma medida obtida de forma indireta a partir dos teores de materiais voláteis e de cinzas. O teor de carbono fixo foi calculado com base na Equação 4.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad \text{Equação 4}$$

Em que: CF: Teor de carbono fixo (%) CZ: Teor de cinzas (%) MV: Teor de materiais voláteis (%).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 95% de significância ($\alpha = 0,05$), utilizando o teste F para comparação entre médias. Os resultados demonstraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados, validando as conclusões apresentadas no estudo. Para casos em que a ANOVA indicou significância, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação múltipla entre médias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicaram teores de umidade significativamente elevados no carvão vegetal produzido. Conforme observado por Souza (2017), a umidade relativa do ambiente de armazenagem representa um dos principais fatores determinantes, particularmente em regiões com alta sazonalidade climática. Durante períodos de elevada umidade atmosférica, o carvão vegetal - material naturalmente higroscópico - tende a absorver água mesmo quando armazenado em ambientes fechados, explicando parcialmente os valores encontrados. A presença de umidade no

carvão vegetal apresenta impactos significativos em suas propriedades, conforme demonstrado por Oliveira et al. (2014).

Tabela 2. Média dos teores de umidade encontrado no carvão vegetal após a carbonização dos clones.

Clone de Eucalipto	Teor de Umidade (%)
A	13,55 a
B	11,70 a
C	11,26 a
D	13,32 a
E	13,02 a
Média Geral	12,57

Médias seguidas de mesma letra na coluna de U (%) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

Os teores de materiais voláteis, que variaram entre 38,56% e 42,44% nos clones estudados, são particularmente importantes por serem responsáveis pela produção de fumaça durante a combustão. Os valores encontrados neste estudo foram superiores aos 25% reportados por Oliveira et al. (2023) para outras espécies de eucalipto. Esse elevado teor de voláteis, conforme destacado por Fialho et al. (2019), reduz a eficiência do carvão como redutor em processos siderúrgicos.

Em relação aos teores de cinzas, o clone C apresentou o menor valor (0,61%), enquanto o clone D o maior (0,90%). Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores: Sette Jr. et al. (2020) relataram um teor de 0,57% para *E. urophylla* de 3 anos, e Silva (2022) reportaram variações de 0,73% a 0,85% em híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* em diferentes tipos de solo.

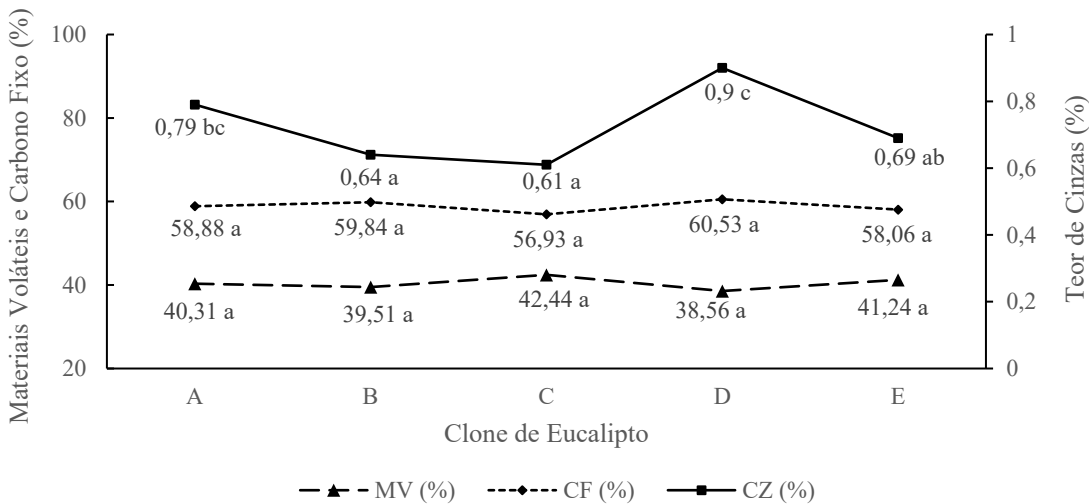


Figura 1. Teor de cinzas, teor de material volátil e teor de carbono fixo dos carvões vegetais de eucalipto.

Com relação aos teores de carbono fixo, os valores obtidos ficaram abaixo da faixa ideal para uso siderúrgico (75-80%, conforme Santos, 2008), sem diferenças significativas entre os clones. Os resultados demonstram a importância da seleção adequada de clones específicos para cada finalidade industrial, considerando não apenas a produtividade florestal, mas também as características qualitativas da madeira e do carvão produzido.

4. CONCLUSÃO

O estudo avaliou diferentes clones de eucalipto para produção de carvão vegetal, verificando que nenhum se destacou em todos os parâmetros analisados. O clone D apresentou maior teor de carbono fixo e menor de materiais voláteis (38,56%), porém seu alto teor de cinzas (0,9%) pode limitar seu uso industrial. Já o clone C teve o menor teor de cinzas (0,61%), porém maior teor de voláteis (42,44%) e menor carbono fixo, impactando sua eficiência energética.

Estes achados reforçam a conclusão de que apenas a análise imediata não é suficiente para selecionar o melhor clone para produção de carvão vegetal. São necessárias avaliações complementares, como poder calorífico, densidade e rendimento gravimétrico, além de considerar fatores como produtividade no campo e resistência a pragas. A escolha do clone ideal deve ser baseada em uma análise integrada, considerando o uso final do carvão e a viabilidade técnica e econômica de cada material genético.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8633:1984 - Determinação do teor de matéria volátil em madeira. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7180:1984. — Determinação do teor de umidade pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997 - Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1102-84 - Standard Test Method for Ash in Wood. West Conshohocken, PA: ASTM, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E872-82 - Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshohocken, PA: ASTM, 2006.
- FIALHO, L. F.; CARNEIRO, A. C. O.; FIGUEIRÓ, C. G.; CARNEIRO, A. P. S.; SURDI, P. G.; VITAL, B. R.; MAGALHÃES, M. A.; PERES, L. C. Application of thermogravimetric analysis as a pre-selection tool for *Eucalyptus* spp. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 3, p. 1-9, 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Anual 2023. Brasil. <https://iba.org/publicacoes>.
- LOPES, L. C. A.; SANTOS A. J. M.; BACKES, C.; DA LUZ SILVA, L.; MAGALHÃES, Â. F. Desenvolvimento florestal em sistema integrado lavoura-pecuaria-floresta. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 11, 2021.
- OLIVEIRA, L. P. DE; et al. Wood and charcoal quality in the selection of *Eucalyptus* spp. clones and *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* for steel industry. *Revista Árvore*, v. 47, p. e4722, 2023.
- PINTO JUNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R. Histórico do cultivo de eucalipto. Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação e produção de renda. *Ttflorestal*. Cap. 1. Pág. 11. EMBRAPA. Brasília-DF. 2014.
- SANTOS, M. A. S. Quality parameters of charcoal for use in blast furnaces. *Proceedings of the National Forum on Charcoal*, vol. 1, UFMG, Belo Horizonte, Brazil, 2008.

SETTE JUNIOR, C. R., CUNHA, T.Q.G., CONEGLIAN, A., et al. Does the presence of bark in the wood of fast-growing forest species significantly change the energy potential? *BioEnergy Research*, v. 13, p. 222-228, 2020.

SILVA, M. F.; FORTES, M. M.; SETTE JUNIOR, C. R. Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 3, e20160350, 2018. D

SILVA, M. F. da. Potencial energético de clones de *Eucalyptus* spp. provenientes de testes clonais em dois diferentes tipos de solo. 66 f., il. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. Cadeia Produtiva. Cadeia Produtiva. Fev. 2020. <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/cadeia-produtiva>.

QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE CLONE DE *Eucalyptus* spp. EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO

Jovita Oliveira Dantas¹, Carlos Roberto Sette Junior¹, Macksuel Fernandes da Silva¹, Arthur Pedro Alves Fernandes¹, Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹, Gabriel Almeida Bastos¹, Jhonatan Willian Moreira^{1*}, Gustavo Strack Júnior Pereira¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): jwm.forest@gmail.com

Resumo: O estudo avaliou as características energéticas do carvão vegetal produzido a partir da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. em sistema integrado de produção. Foram analisados cinco clones selecionados por seus incrementos médios anuais, cultivados em Morrinhos-GO, em delineamento experimental de blocos casualizados. Amostras de madeira foram coletadas em seis posições longitudinais do tronco, carbonizadas em forno mufla (450 °C) e avaliadas quanto a rendimento gravimétrico, densidade aparente, densidade energética, poder calorífico superior (PCS) e útil (PCU). Os resultados indicaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre clones, com destaque para os clones B e C, que apresentaram os maiores rendimentos gravimétricos (31,75% e 32%, respectivamente), alinhados a valores de PCS (31 MJ kg⁻¹) semelhantes aos da literatura. Em síntese, os resultados demonstraram que dentre os clones avaliados, os que exibiram as melhores características energéticas foram os clones D e E, exibindo altos teores de poder calorífico, aliado a maiores densidades energéticas e densidades aparentes e teores médios de umidade em comparação com os outros clones.

Palavras-chave: Madeira, qualidade, carbonização.

CHARCOAL QUALITY FROM *Eucalyptus* spp. CLONES IN AN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM

Abstract: The study evaluated the energy characteristics of charcoal produced from the wood of *Eucalyptus* spp. clones in an integrated production system, aiming to identify genetic materials with better energy performance. Five clones selected for their average annual increments were analyzed, grown in Morrinhos, GO, in a randomized block experimental design. Wood samples were collected from six longitudinal positions along the trunk, carbonized in a muffle furnace (450 °C), and assessed for gravimetric yield, apparent density, energy density, higher heating value (HHV), and useful heating value (UHV). The results showed significant differences ($p < 0.05$) among clones, with clones B and C standing out for having the highest gravimetric yields (31.75% and 32%, respectively), along with HHV values (31 MJ kg⁻¹) similar to those reported in the literature. In summary, the results demonstrated that among the evaluated clones, clones D and E exhibited the best energy-related properties, displaying higher calorific values, combined with greater energy densities and apparent densities, alongside intermediate moisture contents compared to the other clones.

Keywords: Wood, quality, carbonization.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e o desenvolvimento econômico e tecnológico têm impulsionado a demanda global por energia, levando ao aumento do uso de combustíveis fósseis que,

por sua vez, contribuem para a poluição do ar através da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), reconhecidos como principais agentes das mudanças climáticas (IPCC, 2013; IEA, 2015).

No Brasil, o carvão vegetal se consolida como um insumo essencial para as indústrias siderúrgica e metalúrgica, com um consumo de 4,6 milhões de toneladas em 2015, das quais 82% (equivalente a 43 milhões de metros cúbicos) foram produzidas a partir de florestas plantadas de eucalipto (IBÁ, 2016). Este biocombustível apresenta vantagens significativas para a indústria nacional, funcionando como eficiente agente redutor, além de oferecer alta pureza, baixo custo de produção e sustentabilidade ambiental quando proveniente de florestas plantadas (Carneiro et al., 2017; Silva et al., 2018).

A qualidade do carvão vegetal está diretamente relacionada às características da madeira utilizada e aos parâmetros do processo de carbonização (Silva et al., 2018), sendo que essas características variam consideravelmente em função do material genético (clone) e da posição longitudinal no tronco da árvore (Arantes et al., 2013; Buttini et al., 2013; Silva et al., 2015; Oliveira et al., 2017; Silva et al., 2018). Neste contexto, o objetivo do estudo foi avaliar as características energéticas do carvão vegetal de clones de eucalipto em sistemas agroflorestais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo analisou clones de eucalipto em um experimento implantado em 2018 em Morrinhos-GO, em colaboração com instituições como o Instituto Federal Goiano, Embrapa e universidades federais de Goiás e de Lavras. O sistema integrado de produção utilizou um delineamento de blocos casualizados com 40 tratamentos (clones), 6 repetições e 5 plantas por parcela (espaçamento 4 × 10 m). Em 2022 (aos 5 anos de idade), foram coletadas amostras de madeira de 5 clones de *Eucalyptus* spp. selecionados pelos maiores incrementos médios anuais (IMA). As árvores selecionadas foram cortadas em discos em diferentes posições longitudinais no tronco, sendo: base (0% da altura), diâmetro à altura do peito (DAP), 25%, 50%, 75% e topo (100% da altura comercial, equivalente a 6 cm de diâmetro). De cada clone, 5 árvores representativas foram cortadas, totalizando 25 árvores para análise. Para avaliação das características energéticas do carvão vegetal, foram selecionadas 25 árvores (5 exemplares por clone) de *Eucalyptus* spp. cultivadas em sistema integrado (Tabela 1).

Tabela 3. Códigos de Identificação e Espécies/Híbridos Selecionados para Produção de Carvão Vegetal.

Código do clone	Espécie/híbrido
A	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
B	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
C	<i>E. urophylla</i>
D	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
E	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>

As amostras foram coletadas através de seccionamento longitudinal do tronco em seis posições estratégicas: base (0% da altura), DAP (diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% da altura comercial e topo (100% da altura comercial, correspondendo a diâmetro mínimo de 6 cm), totalizando 150 unidades amostrais.

O processamento das amostras seguiu protocolo padronizado, iniciando pela secagem em estufa para eliminação completa da umidade, seguida de carbonização em forno mufla com taxa de aquecimento controlada (1,67 °C/min) até 450 °C, temperatura mantida por 30 minutos para fixação do carbono, conforme metodologia de Silva et al. (2018). Após carbonização, as amostras permaneceram em repouso por 24 horas para resfriamento gradual. Para as análises laboratoriais, o carvão foi triturado e classificado granulometricamente, selecionando-se a fração que passou em peneira de 60 mesh (250 µm) para garantir homogeneidade. Todos os procedimentos analíticos foram executados em triplicata, com rigoroso controle das condições ambientais durante as medições e utilização de materiais de referência para calibração dos equipamentos.

O rendimento gravimétrico foi determinado com a Equação 1, sendo a relação entre o peso da madeira seca em estufa e o peso do carvão vegetal.

$$Yc (\%) = \frac{P_{sc}}{P_{sm}} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que: U: Yc: Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%), Psm: Massa da madeira seca em estufa, Psc: Peso Massa do carvão vegetal.

Para a determinação da densidade aparente, as cunhas carbonizadas foram cortadas em dimensões de 2 cm × 2 cm × 3 cm (largura × espessura × comprimento), de acordo com a norma NBR 7190:1997. Em seguida as medidas foram retiradas através do método gravimétrico, com o auxílio de um paquímetro digital para medir o volume e uma balança de precisão para a obtenção da massa. Com os dados coletados, o volume foi calculado pela Equação 6, e a densidade aparente, pela Equação 7.

$$V = \frac{\pi}{4d^2L} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: V: Volume em g.cm⁻³; d: Diâmetro em cm; L: Altura em cm.

A determinação do teor de cinzas foi feita de acordo com a norma ASTM D1102- 84.34. Os cadinhos foram pesados e também adicionado aproximadamente 1,0 g do material. Os cadinhos, sem a tampa foram adicionados a mufla a 600 °C durante cinco horas. Em seguida foram resfriados em dessecador e pesado em temperatura ambiente, o teor de cinzas foi calculado com a Equação 3.

$$dap = \frac{Mi}{V} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: dap: Densidade aparente em g.cm⁻³ Mi: Massa inicial em g V: Volume cm³.

O poder calorífico superior foi obtido por meio de uma bomba calorimétrica, conforme a norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984). O poder calorífico útil foi determinado por meio da Equação 4.

$$PCU = PCS * \left(\frac{100-U}{100}\right) - 6 * U \quad \text{Equação 4}$$

Em que: PCU: Poder calorífico Útil (kcal.kg⁻¹); PCS: Poder calorífico superior (MJ.kg⁻¹); U%: umidade em %. Para determinar a densidade energética foi feito um cálculo utilizando o PCS e a densidade aparente, Equação 9.

$$DE = PCS * DRA \quad \text{Equação 5}$$

Em que: DE: Densidade energética (MJ^{-3}); PCS: Poder calorífico superior (MJ kg^{-1}); DRA: Densidade aparente (kg m^{-3}).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 95% de probabilidade ($\alpha = 0,05$), utilizando o teste F para comparação entre médias. Para casos em que a ANOVA indicou significância estatística, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação múltipla entre médias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Rendimento rendimentos gravimétricos em carvão vegetal encontrados no estudo foram estatisticamente diferentes (Tabela 2) entre os clones. Os clones B e C foram estatisticamente iguais e superiores, sendo 31,75% e 32,00% respectivamente, em que ambos se destacaram por apresentarem o maior valor. Segundo Neves et al. (2011) o resultado desejado é que o valor encontrado seja o maior possível, pois isso significa um melhor aproveitamento da madeira e uma maior eficiência dos fornos. Quanto ao rendimento gravimétrico, Neves et al. (2011) e Santos e Trugilho (2019) relataram médias próximas a 32%, corroborando os resultados deste estudo. O clone A destacou-se por apresentar o menor rendimento estatisticamente, possivelmente devido a fatores como: Qualidade da matéria-prima, condições do processo de carbonização, controle de oxigênio, eficiência do forno, preparo da madeira (Santos e Trugilho, 2019; Protásio et al., 2014) (Tabela 2)

Tabela 4. Média das de umidade encontrada no carvão vegetal após a carbonização dos clones.

Clone de Eucalipto	Umidade (%)	PCS (MJ Kg^{-1})	PCU (MJ Kg^{-1})	RG (%)
A	13,55 a	30,05 a	25,45 a	25,50 c
B	11,70 a	29,81 a	26,05 a	31,75 a
C	11,26 a	30,16 a	26,48 a	32,00 a
D	13,32 a	29,75 a	25,45 a	29,76 ab
E	13,02 a	29,81 a	25,6 a	27,54 bc
Média	12,57	29,92	26,65	29,31

Médias seguidas de mesma letra na coluna de U (%) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

O poder calorífico superior (PCS) é uma medida que indica a quantidade total de energia liberada quando uma amostra de carvão vegetal é completamente queimada. Quanto maior o PCS, maior a energia disponível, tornando o carvão mais eficiente para uso industrial e residencial (Brito, 2007). Assis et al. (2012) encontraram um valor médio de PCS de 31 MJ kg^{-1} , resultado próximo ao obtido neste estudo, no qual as médias não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. O mesmo comportamento foi observado para o poder calorífico útil (PCU), que representa a energia efetivamente liberada durante a combustão.

Em relação às propriedades físicas, o clone 2808 apresentou os menores valores de densidade aparente e densidade energética (Tabela 3), enquanto os demais clones produziram carvões vegetais

com densidades superiores. Por fim, tanto o PCS quanto o PCU não apresentaram variações estatísticas significativas entre os clones analisados (Tabela 3).

Tabela 5. Densidade aparente e energética do carvão vegetal dos clones de *Eucalyptus* spp.

Clone de Eucalipto	Densidade Aparente (Kg.m ⁻³)	Densidade Energética (MJ.m ⁻³)
A	179,29 b	4592,77 b
B	265,35 a	6914,78 a
C	262,48 a	6952,58 a
D	290,56 a	7404,64 a
E	307,35 a	7865,34 a
Média	261,13	5355,51

4. CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados demonstraram que dentre os clones avaliados, os que exibiram as melhores características energéticas foram os clones D e E, exibindo altos teores de poder calorífico, aliado a maiores densidades energéticas e densidades aparentes e teores médios de umidade em comparação com os outros clones.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000300009>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8633:1984** - Determinação do teor de matéria volátil em madeira. Rio de Janeiro, 1984
- BRITO, J. O. **Carvão vegetal: produção e qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-03102007-093345>. Acesso em: 23 jul. 2024.
- BUTTINI, L.; CAPELARI, I. P.; LIMA, E. A. Influência da posição do tronco nas características do carvão de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 1-2, jan./mar. 2013.
- CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C. D., FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v. 38, p. 375-381, 2014.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. **Elatório Annual 2016** Brasília: IBÁ; 2016. 100 p.
- Internacional Energy Agency – IEA. **Energy and climate change: world energy outlook special report** Paris: IEA; 2015. 200 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. *Climate Change 2013: the physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.68.319.

OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; SALLES, T. T.; CARNEIRO, A. C. O.; LANA, A. Q. Análise de risco econômico de dois sistemas produtivos de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, e00076814, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.076814>.

PROTÁSIO, T. P.; et al. Qualidade do carvão vegetal de clones de eucalipto aos 42 meses de idade para produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 363- 370, 2014.

SANTOS, R. C.; TRUGILHO, P. F. Rendimento Gravimétrico e Características do Carvão Vegetal Obtido de Madeiras de Eucalipto. **Revista Árvore**, v. 43, n. 4, e430403, 2019. DOI: 10.1590/1806-90882019000400003.

SETTE JUNIOR, C. R., CUNHA, T.Q.G., CONEGLIAN, A., et al. Does the presence of bark in the wood of fast-growing forest species significantly change the energy potential? **BioEnergy Research**, v. 13, p. 222-228, 2020.

SILVA, M. F.; FORTES, M. M.; SETTE JUNIOR, C. R. Characteristics of wood and charcoal from Eucalyptus clones. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, e20160350, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.035016>.

CARACTERIZAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus* spp. PARA BIOENERGIA

Jéssica Marques Cândida de Miranda¹; Gabriel de Almeida Bastos^{1*}; Alyne Chaveiro Santos¹; Arthur Pedro Alves Fernandes¹; Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Leandro Teles e Lemes¹; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Jr.¹.

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): gabriel_bastos@discente.ufg.br

Resumo: O conceito de florestas energéticas tem sido cada vez mais difundido no mundo, tendo destaque como uma fonte renovável de menor custo para implantação e com menos impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização da madeira de um povoamento florestal com 10 anos de idade quanto à sua densidade básica, visando a produção de bioenergia. De um delineamento experimental pertencente a uma empresa do setor florestal, localizada na cidade de Catalão, em Goiás, foram obtidas 39 árvores com maiores diâmetro e altura, além de boa sanidade, segundo inventário florestal realizado. Dos indivíduos selecionados, seccionaram-se discos em posições diversas do fuste, totalizando 195 amostras, para determinação da densidade básica, por método hidrostático. Os resultados obtidos foram sintetizados por estatística descritiva. Devido à idade elevada do povoamento, a média da densidade básica foi alta. Além disso, as árvores tiveram 2 padrões de variação da densidade ao longo do fuste marcantes e distintos. Por fim, um pequeno grupo de árvores se destacaram por seu alto valor de densidade básica e homogeneidade no sentido base-topo, características ideais para produção de energia.

Palavras chave: Qualidade; Propriedade física; Biomassa

CHARACTERIZATION OF THE BASIC DENSITY OF WOOD FROM A *Eucalyptus* spp. STAND FOR BIOENERGY

Abstract: The concept of energy forests has been increasingly disseminated worldwide, gaining prominence as a low-cost renewable source for implementation with reduced environmental impacts. Thus, the objective of this study was to perform the characterization of the wood from a 10 years old forest population of a company in the sector regarding its basic density, aiming bioenergy production. From an experimental design belonging to a forestry company located in the city of Catalão, Goiás, 39 trees with the largest diameter and height, as well as good phytosanitary condition, were selected based on a forest inventory. Discs were sectioned from different positions along the stem of the selected trees, totaling 195 samples, for the determination of basic density using the hydrostatic method. The results obtained were summarized using descriptive statistics. Due to the advanced age of the population, the average basic density was high. Furthermore, the trees exhibited two distinct and prominent patterns of density variation along the trunk. Finally, a small group of trees stood out due to their high basic density values and homogeneity from base to top, which are ideal characteristics for energy production.

Keywords: Quality; Physical properties, Biomass.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil no início do século XX, tornando-se a principal cultura florestal no país atualmente. Existem 7,47 milhões de hectares cultivados com eucalipto no

Brasil, o que representa 78,2% das áreas de florestas plantadas que são para fins industriais (IBÁ, 2021). A preferência pelo eucalipto se dá por sua boa adaptabilidade ao clima e tipos de solo, alta produção volumétrica de madeira e rápido desenvolvimento comparado às demais espécies florestais, além de produzir madeira de qualidade que permite uma boa trabalhabilidade para os mais diversos usos (CASTRO et al., 2013). Nesse sentido, o Brasil se destaca como o principal produtor de carvão vegetal do mundo, segundo maior país em produção de celulose e nono lugar no cultivo de madeira serrada (IBÁ, 2021). Isso evidencia a significativa demanda por matéria prima de alta qualidade para suprir as indústrias de base como siderúrgicas, indústrias moveleiras, de cerâmica, papel e celulose, borracha e agroindústrias.

Devido à instabilidade, alto custo e impactos negativos ao meio ambiente causados pela exploração de combustíveis fósseis, energia nuclear e hidrelétricas, o conceito de florestas energéticas tem sido cada vez mais difundido no mundo, tendo destaque como uma fonte renovável, de menor custo para implantação e com menos impactos ao meio ambiente (BRITO, 2007). Em vista disso, o eucalipto é a espécie mais utilizada para consumo de bioenergia, seja na sua forma bruta (lenha), na forma de carvão vegetal, ou na forma de subprodutos da madeira como pellets, briquetes ou cavacos (TRUGILHO, 2009).

Desse modo, buscando melhor qualidade e eficiência na produção de energia pela queima da madeira, certos atributos são desejados, como: baixo teor de cinzas, elevada concentração de lignina e alta densidade básica (JESUS et al., 2017). Esta última se eleva como uma das principais variáveis analisadas para se atingir tal fim, uma vez que possui forte relação com as demais características da madeira, influenciando a qualidade e rendimento do produto final (HSING et al., 2016).

Lima et al. (2020), por exemplo, afirma que, quanto maior a densidade básica, maior será a quantidade de energia estocada por metro cúbico do lenho. Além disso, é importante se estudar a variável em questão com o objetivo de identificar padrões de variação ao longo do fuste, já que pode haver diferenças tanto no sentido medula-casca, quanto base-topo (SETTE JR. et al., 2012). É possível, assim, realizar a melhor destinação da região do fuste para produção de bioenergia.

Portanto o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização da madeira de um povoamento florestal quanto à sua densidade básica, visando à produção de bioenergia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As árvores analisadas neste trabalho foram obtidas em um delineamento experimental pertencente a uma empresa do setor florestal em Goiás, localizado na cidade de Catalão, a 18° 9' 57" S e 47° 56' 47" W, a uma altitude de 835 metros. O clima é classificação como Aw segundo Köppen, com uma temperatura média de 23 °C e pluviosidade média anual de 1449,6 mm (SILVA; ROSA, 2019). A área experimental possui 15,6 hectares, sendo implantada em março de 2012. Os indivíduos são do gênero *Eucalyptus* spp. e possuem 10 anos. Inicialmente foi realizado um inventário florestal na área experimental para a obtenção das variáveis dendrométricas: diâmetro, altura e volume de madeira. Com base nos dados do inventário florestal, foram selecionadas árvores que apresentavam maiores diâmetros, alturas, volume, boa qualidade do fuste, sem bifurcações e com boa sanidade. Foram cortadas 39 árvores, das quais selecionaram-se discos do lenho correspondentes a 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do fuste, totalizando 195 amostras. A determinação da densidade básica se deu pelo método de imersão em água descrito pela NBR 11941 (2003).

As amostras foram armazenadas em um recipiente e submersas em água até atingirem o seu ponto máximo de saturação. Então, os discos tiveram as suas cascas retiradas e foram pesados utilizando uma balança de precisão de 0,01g para determinar o seu volume saturado. Após o processo de pesagem, as amostras seguiram para estufa, aquecida a 103 °C (± 2 °C), permanecendo por um período 48 horas necessário para atingirem o ponto de massa seca constante, sendo posteriormente pesadas novamente para obter o seu peso seco.

A densidade básica foi determinada através da diferença entre o peso seco e o peso saturado, para cada posição longitudinal do fuste. Para obter a densidade básica média de cada árvore, foi realizado a média aritmética das suas respectivas posições longitudinais (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Ademais, visando a verificação e comparação dos resultados obtidos, foi realizado uma análise estatística descritiva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela Tabela 2, percebe-se que as árvores selecionadas para estudo apresentaram uma densidade básica média igual a 0,547 g/cm³, das quais as maiores densidades básicas foram dos indivíduos 85, 28, 47 e 45. O uso de madeiras com baixa densidade para produção direta de energia implica numa queima rápida e com baixa produção por unidade de volume. Ao mesmo tempo, madeiras com elevada densidade possuem uma maior dificuldade no processo de queima inicial. Sendo assim, prefere-se madeiras de densidades intermediárias, entre 0,500 e 0,800 g/cm³, otimizando o processo de queima e obtendo alto valor energético (BRUDER, 2012). Dessa forma, as árvores apresentaram qualidade necessária para o fim desejado.

Por outro lado, os indivíduos com menores densidades, apresentados na Tabela 1, foram 31, 99, 87 e 108, os quais implicam numa queima rápida e com baixa produção de energia por unidade de volume (BRUDER, 2012). É importante considerar também o fator idade, pois ele tem impacto diretamente proporcional sobre a densidade básica, que pode explicar os altos valores encontrados em geral.

A variação da densidade da madeira no sentido longitudinal do tronco apresentou dois comportamentos distintos, visualizados na Figura 1, sendo divididos em dois grupos, dos quais o grupo A (indivíduos: 31, 34, 35, 46, 50, 52, 53, 61, 76, 80, 84, 85, 90, 92, 101, 108, 109 e 110) teve um comportamento crescente da densidade do lenho no sentido base-topo até 75% da altura total e decrescente na posição final do topo. Este comportamento se assemelha ao encontrado e descrito por Lima et al. (2020) em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 8 anos.

Tabela 1: Dados dendrométricos e densidade média das árvores de *Eucalyptus* spp.

A	DAP (cm)	H (m)	V (m ³)	DMB (g/cm ³)	A	DAP (cm)	H (m)	V (m ³)	DMB (g/cm ³)
22	38,7	30,0	1,59	0,568	74	33,6	37,0	1,47	0,584
25	34,1	36,0	1,48	0,565	75	41,5	37,0	2,26	0,566
28	33,3	35,5	1,39	0,614	76	42,7	37,5	2,42	0,548
31	34,4	33,9	1,42	0,471	79	39,9	40,2	2,27	0,583
32	35,4	38,0	1,68	0,571	80	35,5	36,8	1,64	0,552
34	36,4	36,0	1,69	0,566	84	34,2	35,6	1,47	0,560
35	36,6	35,7	1,69	0,564	85	35,8	36,5	1,65	0,617
45	34,5	34,0	1,43	0,586	86	35,3	35,9	1,58	0,574
46	37,4	37,0	1,83	0,513	87	33,6	34,8	1,39	0,490

47	33,5	35,5	1,41	0,601
49	39,8	37,5	2,10	0,536
50	32,9	35,7	1,37	0,515
51	35,3	35,2	1,55	0,505
52	34,5	36,0	1,52	0,535
53	43,0	36,5	2,38	0,569
56	35,0	34,7	1,50	0,519
59	34,2	34,7	1,43	0,544
61	37,1	36,7	1,78	0,563
63	40,2	39,9	2,28	0,542
67	34,8	34,6	1,48	0,509

88	34,5	36,0	1,51	0,549
90	33,5	34,4	1,36	0,526
92	35,0	37,0	1,60	0,549
99	33,1	37,9	1,47	0,481
101	33,3	36,5	1,43	0,571
103	35,3	34,9	1,54	0,542
104	36,6	38,1	1,80	0,527
108	40,4	39,8	2,30	0,493
109	33,6	35,3	1,41	0,534
110	43,4	38,0	2,52	0,549

A: identificação da árvore; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura; V: volume; DMB: densidade média básica.

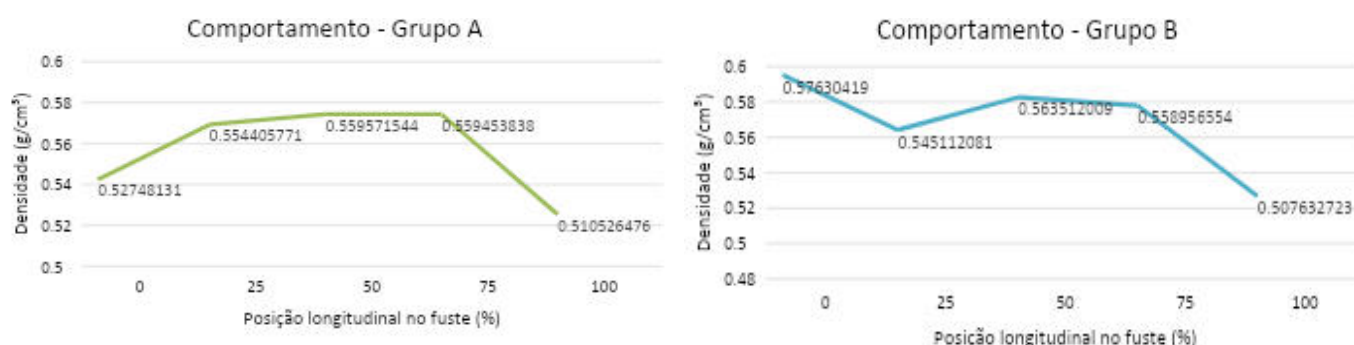
Tabela 2: Estatística descritiva dos dados

	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m³)	Densidade média básica (g/cm³)
Média	36,2	36,2	1,69	0,547
Min.	32,9	30	1,36	0,471
Máx.	43,4	40,2	2,52	0,617
CV%	8,30	5,09	20,34	6,28

CV%: coeficiente de variação de cada variável; altura (H) e volume (V).

Diferentemente, o grupo B (indivíduos: 22, 25, 28, 32, 45, 47, 49, 56, 59, 63, 67, 74, 75, 79, 86, 87, 88, 99, 103 e 104) apresentou um comportamento decrescente no sentido base-topo, crescente da metade do fuste até a posição 75% da altura total, decrescendo novamente na posição final do topo. De forma semelhante, Andrade et al. (2013) encontrou um padrão de variação da densidade, para espécies de *Eucalyptus grandis*, decrescente no sentido das posições 0% à 25%, crescente deste ponto até o topo, decrescendo novamente na posição final de 100% da sua altura comercial. Hsing et al. (2016) afirma que essa redução na densidade básica da madeira no sentido base-topo é esperada devido à diminuição na porção de lenho adulto e aumento na porção de lenho juvenil.

Figura 1: Agrupamento da variação da densidade básica média do lenho no sentido longitudinal do fuste das árvores de *Eucalyptus spp.*



Por fim, as árvores 28 e 45 se destacaram, pois, além de mostrarem elevados valores de densidade básica, ela também apresentou baixa variação ao longo do fuste. Esse comportamento mais homogêneo é ideal, já que, por meio dessas madeiras, é possível produzir carvões com boa densidade, boa resistência mecânica e mais estáveis durante o processo de queima (CASTRO, et al., 2013).

4. CONCLUSÃO

A densidade média básica das árvores selecionadas situou-se dentro do intervalo ótimo para produção de energia. Dentre elas, os indivíduos 28 e 45 se destacam por sua alta densidade e homogeneidade ao longo do fuste, qualidades ideais para produção de carvão vegetal. É importante destacar a idade elevada de 10 anos das madeiras selecionadas, fato determinante nos valores de densidade básica do povoamento.

REFERÊNCIAS

- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; DE STEFANO PIEDADE, S. M. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, E. *Saligna* Sm. e E. *Grandis* x *urophylla*. *Scientia Forestalis*, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ANDRADE, F. W. C.; MOUTINHO, V. H. P. Análise da variação longitudinal da densidade básica em três clones de *Eucalyptus*. I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira – CBCM, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Normas técnicas NBR 11941. Brasília, 2003. 6 p.
- BERSCH, Aline Patricia. Caracterização energética da madeira de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.
- BRITO, José Otávio. O uso energético da madeira. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 185 – 193, 2007.
- BRUDER, Edson Marcelo. Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2012.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. DE C. O.; LIMA, J. E. DE; SANTOS, R. C. DOS; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 48, p. 627-635, 2013.
- COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. DE P.; REIS, A. A. DOS; TRUGILHO, P. F. Amostragens Longitudinais Alternativas para a Determinação da Densidade Básica em Clones de *Eucalyptus* spp. *Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.
- HASELEIN, C. R. et al. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v. 14, p. 145-155, 2004.
- HSING, T. Y.; PAULA, N. F. DE; PAULA, R. C. DE. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, p. 273-283, 2016.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2021. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>> . Acesso em: 01 ago. 2022.

JESUS, M. S. DE; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P. DE; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. Floresta, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

LIMA, M. D. R.; BARROS JR, U. O.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; FIGUEIREDO, I. C. R.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F. Variabilidade das densidades básica e energética e estoque de carbono na madeira no fuste de clones de Eucalyptus. Scientia Forestalis, v. 48, n. 128, p. 1-17, 2020.

ROCHA, M. G. B. et al. Seleção de genitores de Eucalyptus grandis e de Eucalyptus urophylla para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. Revista Árvore, v. 31, p. 977-987, 2007.

SANTOS, A. R. C. DA S. DOS; LIMA, J. D.; VIEIRA, A. C. S.; SÁ, V. A. DE; ROSADO, A. M. Influência da idade da densidade básica da madeira de Eucalyptus sp de plantios clonais e sementes. IV Congresso Brasileiro de Eucalipto, Salvador, 2019.

SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R. DE; FILHO, M. T.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de Eucalyptus grandis. Revista Árvore, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físicoquímicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna. Cerne, v. 2, n. 1, p. 94-116, jan./jun. 1996.

QUALIDADE DA MADEIRA VISANDO A EFICIÊNCIA E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL

QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus globulus* PARA FINS ENERGÉTICOS

Juliana Dias de Melo¹; Fernanda de Jesus Jorge¹; Iara Fontes Demuner¹; Wagner Patrício de Souza Junior²; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Lawrence Pires de Oliveira¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil; ² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Salinas (IFNMG), Salinas/MG, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): juliana.d.melo@ufv.br

Resumo: O estudo da qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus* permite compreender a sua capacidade para preencher os requisitos necessários para a produção de energia. O estudo teve como objetivo principal a determinação das propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus globulus* e análise do seu potencial para fins energéticos. Verificou-se que os clones CNB28 possui qualidades desejáveis para a siderurgia, com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal de 31,7%, teor de voláteis de 19,1%, carbono fixo de 79,6%; rendimento em carbono fixo de 25,23%, e densidade energética de 2,74 Gcal.m⁻³. Concluiu-se que o clone CNB28 é o mais recomendado para a produção de energia por ter apresentado elevada densidade energética e maior teor e rendimento em carbono fixo.

Palavras chave: Energia; Biomassa; Ferro gusa.

Wood Quality of *Eucalyptus globulus* for Energy Purposes

Abstract: The study of the wood quality of *Eucalyptus globulus* provides insight into its ability to meet the necessary requirements for energy production. The primary aim of the study was to determine the properties of the wood and charcoal from *Eucalyptus globulus* and analyze its potential for energy purposes. It was found that the CNB28 clones possess desirable qualities for the steel industry, with a gravimetric yield in charcoal of 31.7%, volatile content of 19.1%, fixed carbon of 79.6%, fixed carbon yield of 25.23%, and energy density of 2.74 Gcal.m⁻³. It was concluded that the CNB28 clone is the most recommended for energy production due to its high energy density and greater fixed carbon content and yield.

Keywords: Energy; Biomass; Pig Iron.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela redução da dependência dos combustíveis fósseis e fontes alternativas de energia renovável vem resultando em um aumento na demanda da biomassa florestal, sendo as espécies florestais mais utilizadas pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. Silva (2014) relatam que o gênero possui uma perfeita adequação físico-química da madeira para fins industriais, rápido crescimento, facilidade de tratos silviculturas, grande plasticidade, bons rendimentos em toneladas por hectare, intensiva utilização do solo, entre outras qualidades. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Árvores (IBA, 2024), em 2023 a área total de florestas plantadas totalizou 10,2 milhões de hectares em 2023 no Brasil, sendo 76% ocupado pelo plantio de eucalipto.

Dentre as espécies mais cultivadas no Brasil, pode-se destacar o *Eucalyptus globulus* Labill. A espécie é originária da ilha da Tasmânia, Promório de Wilson e costas do estado de Victória além das ilhas do estreito de Bass entre Tasmânia e o continente Australiano, se destaca pelo seu rápido

crescimento, capaz de produzir árvores de 30 a 55 metros de altura, além da sua facilidade para rebrota. No Brasil, existem plantios comerciais de *Eucalyptus globulus*, mais especificamente no Rio Grande do Sul, devido à difícil adaptabilidade dessa espécie aos climas tropicais.

O uso do *Eucalyptus globulus* se destaca principalmente na produção de celulose (VOLKER; ORME, 1988), por apresentar alta densidade, longas fibras e alta concentração de hemicelulose e celulose. Além disso, é um dos principais produtores de óleo essencial com propriedades medicinais (BIZZO et al., 2009). É escassa a literatura a respeito das propriedades da madeira do *Eucalyptus globulus* para fins energéticos, ainda que algumas características qualifiquem a espécie para produção de energia.

É de suma importância o desenvolvimento de pesquisas que possam ampliar a base de dados disponíveis para a madeira de *Eucalyptus globulus*, permitindo melhor compreensão do desempenho da madeira na produção de energia e melhoria da qualidade do produto final. Segundo Trugilho (2017), é necessário principalmente para o Brasil, que possui a madeira como uma grande fonte de energia, trata-se de uma questão estratégica, onde os produtos obtidos por esta fonte renovável de energia terão certamente uma maior aceitação tanto nos mercados nacional como internacional.

Assim, o objetivo principal desse trabalho é avaliar o potencial energético da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus globulus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e caracterização da madeira de *Eucalyptus globulus*

Neste trabalho foram utilizados 4 clones de *Eucalyptus globulus*. Para cada um dos clones, foram coletadas cinco repetições (árvores), totalizando vinte amostras. De cada árvore, foram retirados seis discos, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura.

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com o método de imersão em água descrito pela norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

A determinação da composição química imediata, para obter teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca, foi de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986).

A composição química estrutural foi obtida para a determinação dos teores de lignina, holoceluloses e extrativos, as amostras foram preparadas empregando as amostras de madeira moídas, que formaram uma amostra composta por árvore. Foi utilizado a fração que passou na peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982).

Os teores de extrativos da madeira foram determinados de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1998). O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

O Poder Calorífico Superior foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma ABNT NBR 8633 (1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

A densidade energética foi estimada com base na Equação 1.

$$DE = DB \times PCS$$

Em que:

DE = densidade energética expressa em Gcal.m⁻³;

DB = densidade básica expressa em g/cm³;

PC = poder calorífico superior expresso em kcal/Kg.

2.2 Carbonização da madeira e propriedades do carvão vegetal

Para carbonização foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial de cada árvore, obtendo-se uma amostra composta que foi seca em estufa, a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, por 48 horas, até massa constante.

As carbonizações foram realizadas em mufla com aquecimento elétrico. O controle de temperatura foi feito manualmente com incrementos de 50°C a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de $1,67^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$.

A temperatura inicial foi de 100°C e a temperatura final de 450°C , sendo estabilizada na temperatura de 400°C um período de 60 minutos e na última um período de 90 minutos, portanto, o tempo de carbonização foi de 5,5 horas.

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi obtido por diferença com base na massa seca da madeira.

A densidade relativa aparente foi determinada pelo método hidrostático, por meio da imersão em mercúrio, conforme descrito por Vital (1984).

A determinação do poder calorífico superior seguiu a mesma metodologia citada para a madeira, descrita na norma ABNT NBR 8633 (1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. A composição química imediata seguiu a mesma metodologia citada para a madeira, descrita pela norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986).

Para realização do teste de friabilidade foi utilizado 20 g de carvão vegetal e um friabilômetro eletrônico (MA-791), com rotação de 30 rpm durante 17 minutos, conforme procedimento do CETEC (1982), com adaptações.

2.3 Análise estatística

Os dados referentes as propriedades da madeira e do carvão vegetal, de acordo com o material genético, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o software estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades da madeira.

A maior densidade básica foi obtida para o clone CNB27 ($0,61 \text{ g/cm}^3$) e a menor para o clone CNB26 ($0,52 \text{ g/cm}^3$). Segundo Santos et al. (2013), quanto maior a densidade da madeira, maior será a quantidade de energia gerada, seja na queima direta ou na obtenção de carvão vegetal como produto final.

Na tabela 1 observa-se que não houve diferença significativa no poder calorífico, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de significância.

O teor de extrativos do clone CNB28 corresponde a 5,51%, superior ao clone CNB26, que apresentou teor de 3,33.

Não houve diferença significativa no teor de lignina total. De acordo com Foelkel (2009), é abundante a quantidade de lignina nas madeiras de Eucaliptos, principalmente as plantadas no Brasil, com uma ampla faixa de variação (de 20 a 30%). O teor de holocelulose variou de 61,1 a 66,5%, estando próximo a valores encontrados por Oliveira et al. (2010), que obteve para *Eucalyptus pellita* aos cinco anos de idade 65,97%.

Tabela 1: Propriedades da madeira

	Densidade básica (g/cm ³)	PCS (kcal.kg-1)	Extrativos (%)	Lig. Insolúvel (%)	Lig. Solúvel (%)	Lig. Total (%)	Holocelulose (%)	Densidade energética (Gcal.m-3)
CNB25	0,60 ab	4701 n/s	3,65 b	28,2 n/s	3,46 a	31,7 n/s	64,7 ab	2820,6
CNB26	0,52 c	4680 n/s	3,33 b	27,0 n/s	3,09 ab	30,1 n/s	66,5 a	2433,6
CNB27	0,61 a	4686 n/s	5,10 ab	30,6 n/s	3,19 ab	33,8 n/s	61,1 b	2858,46
CNB28	0,59 b	4646 n/s	5,51 a	28,1 n/s	3,07 b	31,2 n/s	63,3 ab	2741,14

Legenda: n/s – não significativo.

Na tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades do carvão vegetal.

O teor de cinzas no carvão vegetal indicado para o uso siderúrgico é inferior a 1%, para não afetar os componentes e os equipamentos responsáveis pela combustão. O teor de cinzas encontrados variou de 0,5 a 1,3%. Esses valores são inferiores aos encontrados por Jesus et al. (2017), que obteve o teor de cinzas para gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade entre 1,34 e 2,82.

Segundo Peres et al. (2019), para a indústria, é desejável que o teor de carbono fixo esteja entre 75 a 80% e teor de voláteis entre 20 a 25%. O rendimento de carvão vegetal foi superior a 30% para todos os clones (Tabela 2).

Observou-se que o clone CNB28 possui qualidades desejáveis para a siderurgia, com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal de 31,7%, teor de voláteis de 19,1%, carbono fixo de 79,6%, rendimento em carbono fixo de 25,23%, e densidade energética de 2,74 Gcal.m⁻³, respectivamente.

Tabela 2: Propriedades do carvão vegetal

	RG (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carb. Fixo (%)	Rendimento em carbono fixo (%)	Finos (%)	Densidade aparente (g/cm ³)
CNB25	34,4 a	30,4 a	0,6 c	69,0 b	23,73	7,9 n/s	0,35 a
CNB26	34,9 a	29,9 a	0,7 b	69,3 b	24,18	7,6 n/s	0,27 c
CNB27	34,4 a	31,0 a	0,5 c	68,5 b	23,56	7,3 n/s	0,33 ab
CNB28	31,7 b	19,1 b	1,3 a	79,6 a	25,23	11,1 n/s	0,30 bc

Legenda: n/s – não significativo.

4. CONCLUSÃO

O clone CNB28 é o mais recomendado para a produção de carvão vegetal e uso para a queima direta. Apresentou elevada densidade energética e maior teor e rendimento em carbono fixo, além de baixo teor de cinzas.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112/86**. Carvão vegetal – Análise imediata. São Paulo, SP, Brasil: Associação brasileira de normas técnicas. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM**. Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia: 1982.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009

SILVA, José de Castro et al. **Propriedades e usos da madeira de eucalipto**. [S. l.]: Arbotech, 2014. ISBN 9788581790657.

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal**. 1982. 395p.: il.

FOELKEL, C.E.B. **Individualização das fibras da madeira da madeira do eucalipto para a produção de celulose Kraft**. In: *Eucalyptus* Online Book & Newsletter, 2009. 107p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Estatístico 2024**. São Paulo, 2025.

JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Revista FLORESTA**, v. 47, n. 1, p. 11, 2 jan. 2017. DOI 10.5380/rf.v47i1.48418.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**. v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PERES, L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; FIGUEIRÓ, C. G.; FIALHO, L. F.; DA SILVA, C. M. S.; CARNEIRO, A. P. S. A new approach to classify wood pruning residues for energy purposes. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 10, n. 3, p. 255-261, 27 dez. 2019.

SANTOS, R. C. Dos, CARNEIRO, A. DE C. O., PIMENTA, A. S., CASTRO, R. V. O., MARINHO, I. V., TRUGILHO, P. F., ALVES, I. C. N., & CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, 491–502, 2013.

TECHINCAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods**. 1998-1999. Atlanta: Tappi Press, 1999.

TRUGILHO, P. F.; DA SILVA, D. A. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO CARVÃO VEGETAL DE JATOBÁ (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, p. 45-53, dec. 2001.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

VOLKER, P. W.; ORME, R. K. Provenance trials of *Eucalyptus globulus* and related species in Tasmania. **Australian Forestry**, v. 1, n. 51, p. 257-265, 1988.

INCREMENTO DA IDADE DA ÁRVORE NA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Juliana Dias de Melo¹; Sherellyn Daphnee Alves Moretti¹; Wagner Patricio de Souza Junior²; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Fernanda de Jesus Jorge¹; Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Lawrence Pires de Oliveira¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil; ² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Salinas (IFNMG), Salinas/MG, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): juliana.d.melo@ufv.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da idade técnica da colheita de árvores de genótipos de *Eucalyptus* e *Corymbia* na qualidade da madeira, visando a produção de carvão vegetal. Foram utilizados cinco genótipos em três idades, de cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco. A densidade básica da madeira foi determinada seguindo a norma NBR 11941. O incremento da idade ocasionou aumento da densidade básica da madeira. O clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* teve os maiores valores de densidade básica da madeira. Pode-se concluir que o clone com maior potencial para produção de carvão vegetal voltado para indústrias siderúrgicas é o *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* na idade sete anos.

Palavras chave: Ciclo de corte, Energia da madeira, Melhoramento genético.

INCREMENT OF TREE AGE IN BASIC WOOD DENSITY FOR CHARCOAL PRODUCTION

Abstract: The objective of this work was to evaluate the effect of the technical age of harvesting trees of *Eucalyptus* and *Corymbia* genotypes on wood quality, moving the production of charcoal. Five genotypes were used at three ages, from each tree six 5 cm thick discs were removed, corresponding to 0%, DBH (diameter at breast height), 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height of the tree. stem. The basic density of the wood was determined following the NBR 11941 standard. The increase in age caused an increase in the basic density of the wood. The clone of *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* presented the highest values of basic wood density. It can be concluded that the clone with the greatest potential for charcoal production for the steel industry is *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* at the age of seven years.

Keywords: Cutting cycle, Wood energy, Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal tem desempenhado um papel cada vez mais significativo na economia global, especialmente no contexto do desenvolvimento sustentável e da busca por alternativas renováveis. A produção de biomassa lenhosa para diversos fins, incluindo energia, tem sido uma atividade cada vez mais relevante em todo o mundo. Segundo dados do Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024), a área de floresta plantada totalizou 10,2 milhões de hectares em 2023 no Brasil, sendo 76% ocupado pelo plantio de eucalipto.

A biomassa florestal para fins energéticos é usada na forma de lenha e cavaco, ou transformada em carvão vegetal. No Brasil, o carvão vegetal é utilizado principalmente no uso industrial e residencial, sendo que, aproximadamente 83% da sua produção é destinada às indústrias siderúrgicas, usados para fornecer carbono para as reações de redução, energia na forma de calor,

sustentar a carga de minério de ferro e permitir a percolação gasosa do leito (EPE, 2022; Protásio et al., 2021; Silva; Ataíde, 2019).

Entre as várias opções de espécies para plantio, com o objetivo de produção de madeira, aquelas pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* destacam-se por seu rápido crescimento, resistência a condições adversas e pela viabilidade de plantios mais adensados (Lopes et al., 2017). No entanto, é fundamental conhecer a qualidade da madeira dessas espécies para determinar sua utilidade em diferentes setores.

A variação da densidade básica pode ser influenciada por uma série de fatores, entre os quais a idade das árvores surge como um dos mais importantes. A densidade básica da madeira de eucalipto aumenta com a idade da árvore (Meneses et al., 2015). Segundo Vital (1984), isto ocorre devido ao aumento de espessura da parede celular e da diminuição da largura da célula do lenho.

A idade de uma floresta desempenha um papel fundamental para as empresas, pois influencia diretamente nas propriedades da madeira. Geralmente, as empresas definem uma idade de corte com base na produtividade volumétrica do povoamento, sem levar em conta as mudanças na qualidade da madeira que ocorrem ao longo do tempo.

Por isso, compreender como a idade afeta a densidade básica desses clones é essencial para otimizar a produção de madeira de qualidade e maximizar os rendimentos econômicos das plantações florestais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da idade na densidade básica das madeiras de híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*, visando a produção sustentável de carvão vegetal para abastecimento da indústria de ferro gusa e ligas metálicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

Neste trabalho foram utilizados cinco genótipos, sendo eles *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita*, nas idades de cinco, seis e sete anos. Foram selecionadas três árvores de diâmetro médio por idade, excluindo árvores de bordas, suprimidas e com defeito, totalizando 45 árvores (unidades amostrais). As árvores foram obtidas de plantios comerciais com espaçamento 6 x 1,5 metros, pertencentes a empresa Aperam, localizados na região de Itamarandiba, Minas Gerais (Latitude 17° 44' 45'' S; longitude 42° 45' 11'' W e altitude 1.000m).

2.2 Preparo das amostras para determinação da densidade básica das madeiras

Para a caracterização da madeira foram retirados discos com espessura aproximada de 7 cm, nas posições 0, DAP (diâmetro a altura do peito), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Cada disco foi subdividido em 4 partes (cunhas), considerando a medula como referência central.

Duas cunhas opostas foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira, conforme a norma NBR-11941 (ABNT, 2003) e Vital (1984).

2.3 Análise estatística

O experimento foi instalado em esquema fatorial com inteiramente casualizado. O primeiro fator é formado por cinco (genótipos) e o segundo fator com três tratamentos (idade), sendo assim o arranjo fatorial foi 5 x 3. O experimento foi composto por três repetições (árvores), totalizando 45 unidades amostrais.

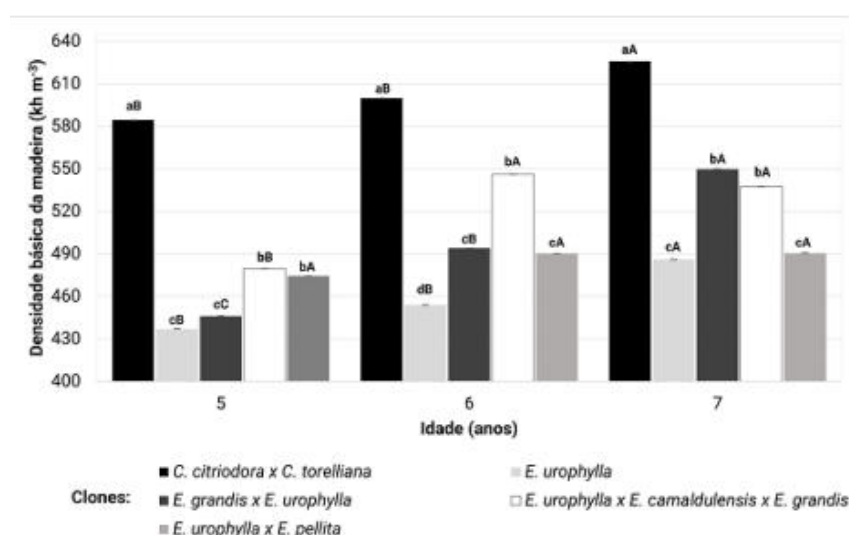
Sequencialmente, foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para testar a normalidade e homogeneidade de variância, respectivamente. Atendendo aos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificar interação entre os fatores. Quando estabelecidas significância os fatores foram desdobrados nos diferentes níveis, onde não houve interação os fatores foram analisados separadamente.

Para dados qualitativos foram utilizados testes de média (Tukey a 95% de probabilidade). Todas as análises foram realizadas no software livre R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira em função dos tratamentos. De acordo com a análise de variância houve efeito da interação idade e clone.

Figura 1: Densidade básica da madeira (kg m^{-3}) de diferentes clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* em função das idades de corte das árvores.



Em que: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey; Letras minúsculas representam diferença significativa entre clones; Letras maiúsculas representam diferença significativa entre idades.

Todos os clones apresentaram diferença significativa em pelo menos uma idade para densidade básica da madeira, com exceção do clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* (Figura 1). A densidade básica apresentou tendência de aumento com o avanço da idade, em média o incremento foi maior da idade seis para a idade sete, próximo de 7,50%. Para os clones *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* os ganhos foram maiores da idade cinco para seis, 13,88 e 3,37%, respectivamente.

O incremento da densidade básica com o avanço da idade é esperado devido ao início da formação do lenho tardio, onde ocorre o aumento da espessura da parede celular e uma redução na frequência dos elementos de vaso, quando isso não ocorre acredita-se que seja efeito das condições climáticas do local do plantio ou devido as características dos genótipos (Fan et al., 2022; Vega et al., 2021).

O recomendado para produção de carvão vegetal são valores acima de 500 kg m^{-3} (Couto et al., 2023), sendo que na idade cinco apenas o clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* atenderia

ao desejado para siderurgia. O clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* atingiu o valor recomendado aos seis anos, enquanto o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* que obteve ganhos acima de 10% nas três idades avaliadas atingiu o recomendado apenas na idade sete anos. Já os clones *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* não atingiram os valores recomendados para produção de carvão vegetal em nenhuma das idades estudadas, sendo indicado manter esses materiais em campo por mais tempo.

Os valores de densidade básica da madeira foram semelhantes aos encontrados na literatura, como, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Assis (2014), que estudando clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* aos 7 anos de idade, encontrou densidade acima de 600 kg m⁻³. Já o trabalho desenvolvido por Santos et al. (2011) que estudando três clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e um clone *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, encontraram valores médios entre 0,500 e 0,550 g.cm⁻³.

Carneiro et al., (2014) observou o aumento significativo da densidade básica com o incremento da idade (3, 4, 5 e 7 anos) para a madeira dos clones GG100 e GG680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG157 (*E. urophylla*), provenientes de plantações comerciais. No entanto, apenas aos 7 anos foram alcançados valores ideais de densidade para produção de carvão vegetal, destacando o efeito da idade sobre a qualidade da madeira e, consequentemente, do produto produzido.

As alterações das características físicas da madeira ocorrem geralmente na fase juvenil, em que a taxa de incorporação de biomassa é crescente, tendendo a se estabilizar, quando a árvore atinge a fase adulta, mas que pode ser influenciada por fatores genéticos, edáficos e climáticos (Vidaurre et al., 2011).

Portanto, analisando a possibilidade de antecipação da idade de corte, geralmente sete anos, apenas o clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* estaria apto para atender as necessidades das indústrias produtoras de carvão vegetal, porém, deve-se analisar outras propriedades juntamente com a densidade básica da madeira.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- O clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* atingiu densidade básica recomendada para produção de carvão vegetal aos sete anos;
- Dentre os materiais avaliados o clone de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* aos sete anos apresentou melhor desempenho para utilização nas indústrias siderúrgicas, por apresentar maior densidade básica da madeira;
- Entre as idades de corte das árvores, a que obteve os maiores valores de densidade básica da madeira foi a idade sete anos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **A B N T NBR-11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. p. 6.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. Em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

COUTO, A. M.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; DA SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; DE ALMEIDA, D. P. Influence of physical-anatomical wood variables on charcoal physical–mechanical properties. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 2, p. 531–538, 2023. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**: Ano base 2021. 2022.

FAN, J.; DING, C.; WANG, S.; MA, C.; ZHANG, C.; LI, Y.; WANG, J.; YANG, M.; SU, X. Effects of site conditions on growth and wood properties of *Populus × euramericana* cv. ‘74/76’. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 2, p. 401–414, 2022.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **RELATÓRIO ANUAL**. 2024. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2024-r.pdf>>.

LOPES, E. D.; LAIA, M. L.; SANTOS, A. S.; SOARES, G. M.; LEITE, R. W. P.; MARTINS, N. S. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, 2017.

MENESES, V.A., Trugilho, P.T., Calegario, N., Leite, H.G., 2015. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, 105,101-116.

PROTÁSIO, T. P.; ROQUE LIMA, M. D.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; RODRIGUES DE FIGUEIREDO, I. C.; GHERARDI HEIN, P. R.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34–45, 2021.

SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SILVA, F. T. M.; ATAÍDE, C. H. Valorization of *Eucalyptus urograndis* wood via carbonization: Product yields and characterization. **Energy**, v. 172, p. 509–516, 2019.

VEGA, M.; HARRISON, P.; HAMILTON, M.; MUSK, R.; ADAMS, P.; POTTS, B. Modelling wood property variation among Tasmanian *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 491, p. 119203, 2021.

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. (Boletim Técnico, 1).Viçosa: SIF. 21p., 1984.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MADEIREIRO DA BRAÚNA (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), EM ENSAIOS DE USINAGEM DA MADEIRA

Lívia Martins Nunes Pereira^{1*}; Mariane da Silva Moreira¹; Brent Gruenhagen Rocha¹; Maria Carolina Fernandes da Rocha; Natália de Oliveira Tambasco¹; Sara da Silva Vasconcelos²; Thalita Fernandes da Cunha³; Alexandre Monteiro de Carvalho¹

¹ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

² Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

³ Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

*Autor correspondente: liviamartinsp@gmail.com

Resumo: A madeira tem sido amplamente utilizada desde a antiguidade devido à sua versatilidade, disponibilidade e propriedades mecânicas variadas. Dentre as diversas espécies, a braúna (*Schinopsis brasiliensis*) destaca-se por sua dureza, densidade e resistência à abrasão, sendo indicada para aplicações que exigem alta durabilidade, como pisos e móveis de alto padrão. Este estudo avaliou o desempenho da madeira de braúna em ensaios de usinagem, considerando diferentes condições de processamento. A madeira foi proveniente do Jardim Botânico da UFRRJ e preparada no Laboratório de Processamento da Madeira. Foram realizados testes de aplainamento, lixamento, furação, rasgo e fendilhamento por pregos, seguindo a norma ASTM-D 1666-87. Os corpos de prova foram avaliados quanto às propriedades físicas, incluindo densidade e variação volumétrica. Os resultados demonstraram excelente desempenho nos testes de aplainamento, lixamento e furação, evidenciando a aptidão da madeira para usos industriais e na construção civil. Contudo, a madeira mostrou-se menos adequada ao fendilhamento por pregos, devido à ocorrência de trincas. Conclui-se que a braúna apresenta grande potencial como madeira de qualidade para diversas finalidades, com exceção do uso com pregos.

Palavras chave: Desempenho; Potencial madeireiro; Usinagem.

EVALUATION OF THE WOOD POTENTIAL OF BRAÚNA (*Schinopsis brasiliensis* Engl.) IN WOOD MACHINING TESTS

Abstract: Wood has been widely used since ancient times due to its versatility, availability, and variable mechanical properties. Among the various species, braúna (*Schinopsis brasiliensis*) stands out for its hardness, density, and abrasion resistance, making it suitable for high-durability applications such as flooring and high-end furniture. This study evaluated the performance of braúna wood in machining tests under different processing conditions. The wood was sourced from the Botanical Garden of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) and prepared at the Wood Processing Laboratory. Planing, sanding, drilling, tearing, and nail splitting tests were carried out, following ASTM-D 1666-87 standards. Test specimens were also evaluated for physical properties such as density and volumetric variation. The results showed excellent performance in planing, sanding, and drilling tests, demonstrating the suitability of braúna wood for industrial and construction applications. However, the wood proved less suitable for nail splitting due to the occurrence of cracks. It is concluded that braúna presents strong potential as a high-quality wood for various uses, with the exception of applications involving nailing.

Keywords: Performance; Timber potential; Machining

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente utilizado desde a antiguidade devido à sua versatilidade, disponibilidade e propriedades mecânicas, que variam de acordo com a espécie e as condições ambientais em que se desenvolve. Apresenta importância para indústrias, como construção civil, geração de energia, produção de papel e móveis. Por ser um material heterogêneo e anisotrópico, ou seja, com propriedades físicas e mecânicas diferentes nas direções radial, tangencial e longitudinal, a madeira exige atenção especial durante os processos de usinagem e beneficiamento, conhecidos como "aparelhamento". Esses processos envolvem cortar, lixar e ajustar a madeira para que ela seja adequada para diferentes finalidades (Carvalho; Latorraca; Silva, 2010).

A braúna (*Schinopsis brasiliensis*) oferece características que podem ser vantajosas quando manipuladas corretamente, segundo estudos. A espécie é reconhecida pela sua dureza, densidade e resistência à abrasão, o que a torna indicada para produtos que exigem maior durabilidade, como móveis de alto padrão e pisos de madeira. Ensaio de usinagem realizados com esta espécie têm mostrado que a escolha da ferramenta e os parâmetros de corte, como velocidade e avanço, influenciam diretamente a qualidade final do produto e o desgaste das ferramentas (Silva; Oliveira; Santos, 2018).

Nesse contexto, o objetivo foi avaliar o desempenho da madeira da espécie *Schinopsis brasiliensis* em ensaios de usinagem, investigando seu comportamento sob diferentes condições de processamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo foi proveniente de árvores de braúna (*Schinopsis brasiliensis*) que fizeram parte da arborização do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica. As árvores foram removidas devido a fortes ventos que ocasionaram a necessidade de desbaste. As toras resultantes foram transportadas para o Laboratório de Processamento da Madeira (LPM), no Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da UFRRJ, onde foram desdobradas e preparadas para a realização dos ensaios.

Foram desdobradas através da serra de fita horizontal, obtendo-se tábuas paralelas, que foram empilhadas e colocadas para secagem natural por 2 semanas, transferidas para um desengrossador para a obtenção da espessura desejada com precisão.

Para os ensaios de usinagem, foram preparados seis corpos de prova com dimensões de 23 cm de comprimento, 12 cm de largura e 2,5 cm de espessura. Além disso, foram produzidos 10 corpos de prova com dimensões de 2,0 cm x 3,0 cm x 5,0 cm, considerando as dimensões tangencial, radial e longitudinal para a determinação das propriedades físicas da madeira.

As 10 amostras de madeira foram medidas inicialmente no estado "verde". As dimensões foram determinadas com um paquímetro digital, e o peso, com uma balança analítica de precisão 0,001 g. As amostras foram imersas em água por 24 horas para atingir a saturação necessária aos cálculos. Após esse período, suas dimensões foram novamente medidas. Posteriormente, foram secas em estufa com circulação de ar forçada a $\pm 60^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, até atingirem peso constante (estado anidro). Após a secagem, as dimensões foram medidas novamente com os mesmos instrumentos.

Com os dados obtidos, realizaram-se os cálculos de densidade básica; densidade aparente; densidade anidra; a variação volumétrica; e o teor de umidade.

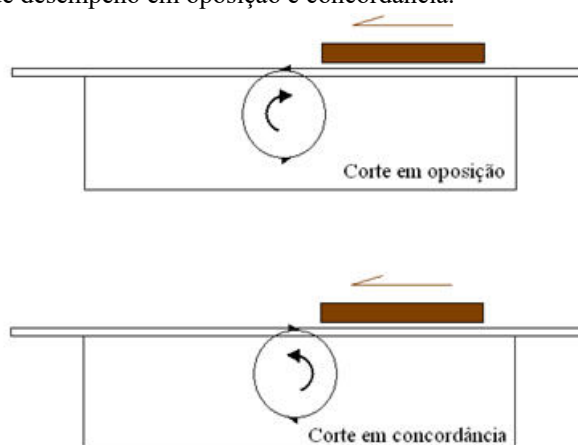
A avaliação do potencial madeireiro da braúna foi realizada com base na Norma ASTM-D 1666-87, que estabelece métodos padrão para a realização de testes de usinagem na madeira. Para o

estudo, foram realizados ensaios de aplainamento, lixamento, furação, teste de rasgo e de fendilhamento por pregos

Os testes são qualificados de acordo com notas de 1 a 5, de excelente a muito ruim, respectivamente. Apenas o teste de fendilhamento por pregos diferencia-se, os resultados são classificados em peça que aceita pregos: amostra sem rachas ou trincas, ou dimensões insignificantes destes, não alcançando o topo das amostras; e peça que não aceita pregos: com trincas ou rachas. Esses ensaios permitem uma análise das propriedades da madeira quanto ao seu comportamento, fornecendo dados relevantes para a avaliação do seu desempenho e potencial de uso em aplicações industriais e construtivas.

- Teste da Plaina: é utilizado para avaliar a presença de dois diferentes defeitos: grã arrancada e grã felpuda após a passagem das amostras em uma plaina desempenadeira.

Figura 1: Esquema dos cortes de desempenho em oposição e concordância.



- Lixamento - teste de lixa: é realizado em lixadeira utilizando a face oposta ao que é usada no teste de plaina, sendo a superfície da madeira lixada por 20 segundos.
- Furação: utilizada uma furadeira vertical de coluna, com velocidade de avanço manual. Foram realizadas furações “para cavilha” e “para dobradiça”.
- Teste de rasgo: o rasgo é feito na lateral da peça, em lado oposto ao lado onde foram feitos os furos de cavilha e dobradiça, com a utilização de uma furadeira horizontal com uma broca helicoidal de 8 mm.
- Fendilhamento por pregos: utilizados pregos 15 x 15 com 30 mm de comprimento e 2,4 mm de diâmetro. Os pregos foram inseridos com espaçamento de 20 mm entre si e a 10 mm das bordas das peças, com a utilização de um martelo de 250g.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram inseridos na tabela 1, os valores médios de densidade básica, densidade aparente, densidade anidra, contração volumétrica e a umidade para as amostras analisadas.

A densidade básica apresentou uma média de 0,77 g/cm³, valores acima de algumas espécies de eucalipto encontradas por Tomazello Filho (1987). Além de valores médios de 0,90 g/cm³ e 0,80 g/cm³ de densidade aparente e anidra, respectivamente. Portanto indica que a Braúna é um material de alta densidade e possui alta resistência mecânica.

A variação volumétrica, indica que esse material reduz ou aumenta seu volume total em média de 4,39%, apresentando boa estabilidade dimensional, ou seja, sofrem menos deformações,

rachaduras e empenamentos durante a secagem. Contudo o valor médio de 47,21% de umidade pode amplificar os efeitos das variações volumétricas se a secagem for inadequada.

A partir das avaliações dos corpos de prova, foram encontrados os seguintes resultados:

De acordo com o desempenho da madeira em relação ao teste de aplainamento apresentou média de excelente a bom desempenho. Apresentando em sua maioria pouco ou nenhum defeito tanto para grã felpuda, quanto para grã arrancada.

O desempenho da madeira para o teste de lixamento apresentou resultados médios considerados excelentes, pois a superfície não apresentou defeitos.

Os resultados obtidos no teste de furação para cavilhas nos corpos de prova mostram que a madeira apresentou no furo de 6 mm valores entre 1 e 4, que significam notas de excelente a ruim, sendo a grã arrepiada os resultados considerados regulares e ruins. Para o furo de 8 mm os resultados encontrados foram de 1 a 3 excelente a regulares, valores semelhantes ao furo de 6 mm. Por fim, o furo de 10 mm, foi o que apresentou melhor desempenho, com valores médios considerados bons.

O teste de furação para dobradiças apresentou valores médios considerados bons, que significa que a superfície apresentou defeitos leves em apenas um ou dois dos furos.

Valores médios de excelente a bom foram observados no teste de confecção de furação para encaixe de espiga, onde a presença de levantamento foi considerada leve em uma ou duas faces quaisquer.

De acordo com os resultados para o teste de fendilhamento por pregos foi considerado que a madeira não aceita pregos, pois apresentou trincas ou rachas nos topos dos corpos de provas com uma média de 91,67%.

Abaixo estão os seis corpos de prova após a realização dos testes de usinagem (Figura. Observa-se que todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios para a maioria dos ensaios, com exceção do teste de fendilhamento por prego.

Figura 2: Resultado dos corpos de prova após realização dos testes de usinagem.



4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a madeira de Braúna apresentou excelente desempenho na maioria dos testes de usinagem avaliados, destacando-se pela sua alta qualidade para aplainamento, lixamento, confecção de furos para dobradiças e encaixe de espiga, além de resultados promissores para furação com diâmetros maiores. No entanto, mostrou-se pouco adequada para fendilhamento por pregos, devido à alta ocorrência de trincas e rachaduras nos corpos de prova.

Diante desses resultados, a madeira de Braúna demonstra um potencial significativo para usos onde sua densidade, resistência e boa trabalhabilidade sejam valorizadas. Assim, pode ser recomendada para:

- Fabricação de móveis, especialmente onde há necessidade de superfícies lisas e com ótimo acabamento, devido ao seu excelente desempenho em aplainamento e lixamento.
- Componentes estruturais de menor esforço, como encaixes e conexões que dependam de furos para espigas ou dobradiças.
- Peças decorativas ou artefatos que exijam precisão e boa aparência após usinagem.

Devido à baixa aceitação de pregos convencionais, alternativas viáveis incluem:

1. Pré-furação: Esse método consiste em criar um furo piloto no local onde o prego ou parafuso será inserido, o que reduz o esforço de penetração, e consequentemente, reduz o fendilhamento.
2. Pregos sob pressão: Esse tipo de equipamento dispara pregos em alta velocidade, reduzindo o impacto gradual que ocorre durante o martelamento manual, o que ajuda a minimizar o risco de trincas e fendas.
3. Parafusos em vez de pregos: Parafusos garantem maior resistência mecânica e menor risco de rachaduras.
4. Uso de pregos tipo "anelados" ou "espiralados": Esses modelos possuem melhor capacidade de ancoragem com menor impacto na madeira.

Em suma, a braúna é uma madeira nobre com excelente potencial para usos específicos em marcenaria e carpintaria, mas sua aplicação deve ser planejada de forma a evitar a necessidade de pregos convencionais, maximizando assim seus atributos naturais.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, A. M. de; SILVA, B. T. B. da; LATORRACA, J. V. de F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). *Cerne*, v. 16, n. 1, p. 106-114, 2010.
- DELATORRE, Fabíola Martins et al. *Comportamento da madeira de Ingá (Inga edulis Mart) frente a ensaios de usinagem*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e352985119-e352985119, 2020.
- SILVA, M. F.; OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, R. M. *Estudo do Comportamento da Braúna em Processos de Usinagem*. *Journal of Wood Science*, 2018.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. IPEF, Piracicaba, nº 36, p35-42, 1987.

PROGRAMAS DE SECAGEM PARA MADEIRAS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) E ORELHA-DE-MACACO (*Enterolobium* sp.)

Amanda dos Santos Ferreira¹; Marcia Cristiane Alves¹; Afonso Henrique Rodrigues de Oliveira Barros²; Maria Jhulia Cordeiro Santos²; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas^{1,2*}; Thiago Cardoso Silva²; Emmanoella Guaraná^{1,2}; Fábio Henrique Della Justina do Carmo²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

²Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

*Adriano Reis Prazeres Mascarenhas: adriano.mascarenhas@unir.br

Resumo: A secagem da madeira é uma etapa fundamental para as indústrias, pois agregam valor à madeira e possibilitam a redução de defeitos. O objetivo do estudo foi desenvolver programas de secagem adaptados às madeiras de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) e orelha-de-macaco (*Enterolobium* sp.). Avaliou-se a densidade básica, umidade em base seca, velocidade e tempo de secagem, índice de rachaduras, visando elaborar programa de secagem. As madeiras de paricá e orelha-de-macaco apresentaram densidades com valores respectivos de 0,36 g/cm³ e 0,67g/cm³. O tempo total de secagem até atingir 5% de umidade foi de 8h para o paricá, 13h para orelha-de-macaco. Ao longo de todo o processo de secagem, o paricá se destacou como a espécie com a maior taxa de secagem. Paricá registrou uma incidência de rachaduras, com ~14,5%, seguido por orelha-de-macaco, com ~12,2%. Na Amazônia devido às inúmeras espécies exploradas, para garantir qualidade da madeira é ideal adotar programas de secagem específicos para cada espécie.

Palavras-chave: Densidade da madeira; Madeiras tropicais; Secagem drástica.

DRYING SCHEDULES FOR PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) AND ORELHA-DE-MACACO (*Enterolobium* sp.) WOOD

Abstract: Drying wood is a fundamental stage for the industry, as it adds value to the wood and makes it possible to reduce defects. The aim of this study was to develop drying programs adapted to paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) and orelha-de-macaco (*Enterolobium* sp.) wood. The basic density, moisture content on a dry basis, drying speed, drying time and crack index were evaluated to develop a drying program. The densities of paricá and orelha-de-macaco wood were 0.36 g/cm³ and 0.67 g/cm³ respectively. The total drying time to reach 5% moisture content was 8 hours for paricá and 13 hours for orelha-de-macaco wood. Throughout the drying process, paricá stood out as the species with the highest drying rate. Paricá recorded an incidence of cracking, with ~14.5%, followed by orelha-de-macaco, with ~12.2%. In the Amazon, due to the numerous species exploited, it is ideal to adopt specific drying programs for each species to increase quality.

Keywords: Drastic drying; Tropical woods; Wood density.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a madeira é uma matéria-prima essencial em diversos setores, relacionando-se com atividades como a geração de energia, construção civil, movelaria e produção de celulose (IBÁ, 2024). Para garantir o uso sustentável desse recurso natural e atender à crescente demanda da indústria, é importante que sejam adotadas técnicas de processamento adequadas, reduzindo-se os desperdícios de matéria-prima e agregando-se valor aos produtos florestais.

Entre as boas práticas utilizadas pelo setor madeireiro para aumentar o aproveitamento e ampliação de lucros, a secagem artificial da madeira se destaca, pois, ao mesmo tempo, permite a

redução da massa da carga e a minimização dos defeitos provenientes da secagem ao ar livre. Além disso, melhora a usinabilidade da madeira e a adesão de tintas, vernizes e adesivos, fatores que agregam valor ao produto e ampliam sua competitividade no mercado (Maria et al., 2022). Apesar disso, na região Amazônica esse processo ainda é pouco utilizado, sobretudo no caso de espécies florestais nativas.

Fatores como a alta diversidade de espécies, escassez de estudos específicos e ausência de parâmetros técnicos padronizados podem contribuir para esse cenário, dificultando o avanço tecnológico em muitas serrarias locais. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo dimensionar programas de secagem para duas espécies amazônicas de interesse comercial: o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) e a orelha-de-macaco (*Enterolobium* sp.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta do material de estudo

O material de estudo foi coletado em uma serraria, localizada no município de Rolim de Moura, Rondônia. As amostras eram constituídas de madeira de paricá e orelha-de-macaco, para as quais foram produzidos 20 corpos de prova com dimensões de, aproximadamente, 3 x 3 x 10 cm.

2.2 Umidade e densidade básica das madeiras

A umidade em base seca (UBS) das amostras foi determinada conforme a norma ASTM E871-82/2019 e a densidade básica (ρ_b) conforme a ABNT NBR 11941/2003.

2.3 Procedimento de secagem drástica e programa de secagem

Antes da secagem foi calculada a área superficial de todas as amostras, em seguida, foram levadas para estufa (103 ± 2 °C), e submetidas a pesagem periódica, com intervalos de 1 hora. Entre cada intervalo, obtiveram-se as massas das amostras com balança semianalítica e monitorou-se a ocorrência de defeitos, como colapsos e rachaduras. As rachaduras observadas durante o processo de secagem foram contabilizadas e, posteriormente, mensuradas com o auxílio de paquímetro digital.

Os parâmetros utilizados para elaboração do programa de secagem foram definidos a partir dos cálculos de velocidade e tempo de secagem, entre a umidade acima do PSF (Ponto de Saturação das Fibras) até 5% de umidade, entre a umidade acima do PSF até o PSF e entre PSF e 5% de umidade de acordo com a metodologia descrita por Ciniglio (1998) e Galvão e Jankowsky (1985). Para estimar a massa de água perdida a partir da secagem da madeira, adotaram-se como PSF: 26% para as madeiras de paricá e orelha-de-macaco (ITTO, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

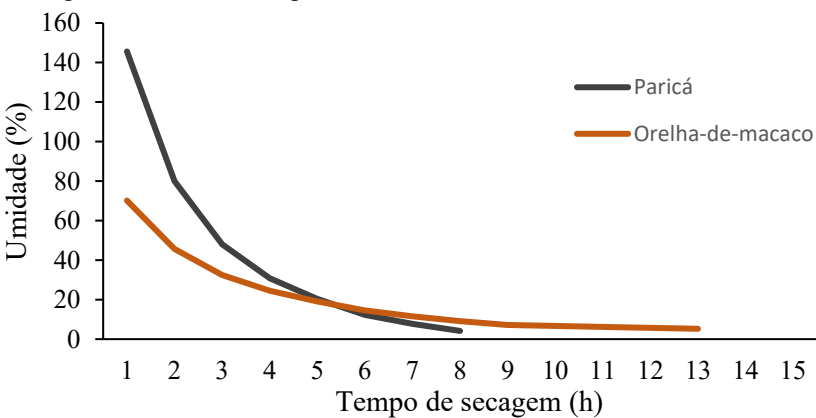
Com base nos resultados, pode-se afirmar que existe uma correlação inversa entre a densidade e a umidade das madeiras, em que madeiras mais densas tendem a apresentar menores umidades (Tabela 1). Essa relação pode estar associada às suas estruturas anatômicas, visto que as madeiras mais densas possuem menor proporção de poros (Medeiros et al., 2021), limitando a quantidade de água que podem armazenar, enquanto as madeiras menos densas apresentam uma estrutura com mais espaços vazios, facilitando a adsorção e retenção de umidade. Outro aspecto que contribui para isso está relacionado ao volume de parede celular em madeiras de maior densidade, condição que propicia maior associação de água de impregnação com as paredes celulares (Skaar, 1988).

Tabela 1. Densidade básica (pb) e Umidade em Base Seca (UBS) das madeiras de paricá e orelha-de-macaco.

Parâmetro	Paricá	Orelha-de-macaco
pb (g/cm³)	0,36 ± 0,08	0,67 ± 0,01
UBS (%)	145 ± 30,99	70 ± 3,23

Quanto ao tempo de secagem das madeiras, apesar do paricá inicialmente apresentar umidade mais elevada (145%), seu tempo de secagem foi mais rápido, levando em torno de 8 horas para atingir a umidade de 5%. Isto pode ser explicado pelo fato de madeiras mais úmidas apresentarem maior potencial de secagem (Galvão e Jankowsky, 1985). Já a madeira de orelha-de-macaco com umidade inicial de 70%, teve seu tempo de secagem de 5 horas a mais que o paricá, totalizando cerca de 13 horas (Figura 1).

Figura 1. Tempo de secagem das madeiras de paricá e orelha-de-macaco.



O menor tempo de secagem para madeira de paricá pode estar relacionado a sua menor densidade, visto que, madeiras menos densas geralmente possuem maior porosidade e menor resistência ao fluxo de vapor, permitindo que a umidade evapore com maior facilidade durante o processo de secagem (Skaar, 1988). No entanto, o tempo de secagem de madeiras não depende somente dessa variável, como observado por Santos et al. (2025), ao avaliar o programa de secagem de diferentes madeiras tropicais observou que outras características anatômicas também influenciaram o tempo de secagem. Assim como o tempo de secagem, a madeira de paricá também apresenta a maior taxa de secagem nas fases que vão da umidade inicial até o PSF e da umidade inicial até 5%. No entanto, na fase entre o PSF e 5% de umidade, a madeira de orelha-de-macaco se destaca por apresentar uma maior taxa (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de secagem das madeiras de paricá e orelha-de-macaco.

Espécie	Taxa de secagem (g/h)		
	Umidade inicial ~ 5%	Umidade inicial ~ Ponto de Saturação das Fibras	Ponto de Saturação das Fibras ~ 5%
Paricá	0,09	0,14	0,03
Orelha-de-macaco	0,05	0,12	0,05

A maior taxa de secagem nas fases iniciais, está relacionada às características anatômicas da madeira, ou seja, no paricá as fibras e vasos apresentam maior diâmetro do lúmen, o que facilita a

remoção de água (Eloy et al., 2021). Já a taxa de secagem da madeira de orelha-de-macaco do PSF até a umidade de 5%, pode estar associada à sua maior proporção de celulose, ou seja, as madeiras mais densas tendem a apresentar maior teor de celulose, e consequentemente, maior quantidade de água de impregnação. Dessa forma, a maior taxa de secagem nessa fase está relacionada à maior quantidade de água removida da parede celular. Vale ressaltar que a taxa de secagem da madeira também se relaciona com a ocorrência de defeitos, uma vez que abaixo do PSF, a secagem rápida ou descontrolada aliadas às estruturas anatômica, tipo de grã e densidade, podem provocar tensões internas, resultando em rachaduras e empenamentos (Kroessin, 2025).

No procedimento de secagem drástica adotado, foi observado apenas ocorrência de rachadura de topo. A madeira de paricá registrou a maior incidência de rachaduras, apresentando um índice ~14,5%, seguida pela orelha-de-macaco com ~12,2%. Essas rachaduras ocorreram devido às diferenças entre a retratibilidade do plano radial e tangencial da madeira durante a secagem, sendo necessário adotar métodos preventivos que incluem a orientação do desdobro da madeira e o empilhamento adequado, seguindo os procedimentos de secagem, utilizando temperaturas iniciais moderadas e alta umidade relativa (Souza, Wisbeck e Souza, 2021).

Com base no tempo e taxa de secagem das espécies, foi elaborado o programa de secagem adequado, subdividido em fases de pré-secagem, secagem, uniformização e condicionamento. Fase de pré-secagem é a fase que permite maior redução da água livre da madeira, fase fundamental para evitar ocorrência de defeitos. Posteriormente, na fase da secagem, é obtida a umidade desejada, devido a isso a temperatura é elevada e a umidade relativa reduzida. Já a fase de uniformização, irá igualar a umidade entre as diferentes partes da peça da madeira, bem como, entre as diferentes peças presentes na estufa, enquanto o condicionamento reduzirá as tensões geradas durante todo o processo de secagem, garantindo o controle de qualidade da madeira (Quadro 1).

Quadro 1. Programa de secagem da madeira de paricá e orelha-de-macaco, contendo as etapas de secagem, umidade da madeira (UM), temperatura de bulbo seco (Tbs (°C)); Temperatura de bulbo úmido (Tbu(°C)); Depressão psicrométrica (Dep(°C)); Umidade relativa do ar (UR); Umidade de equilíbrio da madeira (UEM) e potencial de secagem (PS).

Espécie	Etapas	UM (%)	Tbs	Tbu	Dep	UR (%)	UEM (%)	PS (%)
Paricá	Pré-secagem	Aquecimento	70,0	69,0	1,0	95,0	19,5	*
	Pré-secagem	>50	70,0	67,5	2,5	88,0	15,0	3,3
	Pré-secagem	50	70,0	67,5	2,5	88,0	15,0	3,3
	Pré-secagem	45	70,0	66,4	3,6	82,0	13,0	3,5
	Pré-secagem	40	70,0	63,0	7,0	71,0	10,9	3,7
	Pré-secagem	35	70,0	60,0	10,0	61,0	8,9	3,9
	Pré-secagem	30	70,0	56,0	14,0	50,0	6,8	4,4
	1	25	76,0	58,0	18,0	42,0	5,7	4,4
	2	20	82,0	60,0	22,0	36,0	4,5	4,4
	3	15	88,0	59,0	29,0	27,0	3,4	4,4
	Secagem	12	94,0	64,0	30,0	27,0	2,7	4,4
	Uniformização	*	94,0	73,0	21,0	72,0	10,0	*
	Condicionamento	*	94,0	78,0	16,0	91,0	16,0	*
Orelha-de-macaco	Pré-secagem	Aquecimento	65,0	64,0	1,0	95,0	20,1	*
	Pré-secagem	>50	65,0	62,0	3,0	85,0	15,0	3,3
	Pré-secagem	50	65,0	62,0	3,0	85,0	15,0	3,3
	Pré-secagem	45	65,0	60,8	4,3	79,5	13,8	3,3
	Pré-secagem	40	65,0	60,5	4,5	79,0	12,5	3,2
	Pré-secagem	35	65,0	58,3	6,8	70,0	11,3	3,1
	Pré-secagem	30	65,0	58,0	7,0	68,0	10,0	3,0
	1	25	72,0	62,0	10,0	62,0	8,3	3,0

	2	20	79,0	66,0	13,0	54,0	6,7	3,0
	3	15	86,0	67,0	19,0	44,0	5,0	3,0
	Secagem	12	93,0	69,0	24,0	36,0	4,0	3,0
	Uniformização	*	93,0	73,0	20,0	72,0	10,0	*
	Condicionamento	*	93,0	78,0	15,0	91,0	16,0	*

As etapas do programa quando realizadas corretamente aumentam a estabilidade dimensional da madeira, reduzindo defeitos no processamento. Além disso, a secagem possibilita a redução de custos das operações florestais (Oliveira et al., 2024). Isso ocorre porque a remoção da água excedente na madeira diminui o custo por carga. Essa abordagem de adoção de programa de secagem, também realizado por Martins, Marques e Gouveia (2019) para seringueira, reforça a sua importância considerando as particularidades de cada espécie.

4. CONCLUSÃO

O tempo de secagem das madeiras até 5% de umidade para o paricá e orelha-de-macaco foi de 8 e 13 h, respectivamente. Durante a secagem drástica, o paricá apresentou maior taxa de secagem nas fases iniciais. Contudo, a secagem da madeira visa garantir a qualidade do produto, maximizando os benefícios econômicos e ambientais da exploração madeireira na região. Com isso, recomenda-se a adoção de programas de secagem específicos para diferentes tipos de madeira.

REFERÊNCIAS

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de E. grandis e E. urophylla**. 1998. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.

ELOY, E.; TREVISAN, R.; PIECHA, T. D. S.; FONTOURA, M. R.; COSTA, H. W. D.; CARON, B. O. Anatomy and drying of wood of four species from an agroforestry system. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 910-917, 2021.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório Anual 2024**. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 07 maio 2025.

International Tropical Timber Organization - ITTO. **Tropical Timber Atlas: Technological characteristics and uses**. 1. ed. Quae, 2017. 1000 p.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, v. 18, p. 1-33, 1979.

KROESSIN, A. **Efeito da secagem por micro-ondas nas propriedades físico-mecânicas das madeiras de Manilkara huberi e Sextonia rubra**. 2024. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 2024.

MARIA, D. M. B.; CALEGARIO, N.; SOARES, B. C. D.; BRITO, D. Y. O.; LIMA, J. T. Changing the calculated surface area of wood samples to define drying schedules for *Eucalyptus* clones. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 52, p. 1-12, 2022.

MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B.; GOUVEIA, F. N. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1469-1477, 2019.

MEDEIROS, D. T. D.; MELO, R. R. D.; CADEMARTORI, P. H. G. D.; BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A. R. P. Caracterização da madeira de espécies da Amazônia. **Madera y bosques**, v. 27, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, S.; OLIVEIRA, L. V. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Redução de custos de transporte de madeiras tropicais comercializadas em Rondônia por meio da secagem. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 23 - 36, 2024.

SANTOS, G. R. V. Programas de secagem baseados em escore de defeitos para espécies tropicais. **Advances in Forestry Science**, v. 12, n. 1, 2025.

SKAAR, C. **Wood-Water Relations**. 1. ed. Springer, 1988. 263 p.

SOUZA, L. F.; KEINE, S.; WISBECK, E.; SOUZA, O. Estudo experimental da secagem de tábuas de *Pinus taeda*: efeito das variáveis do processo sobre a velocidade de secagem e defeitos gerados no material desidratado. In: AYOUB, J. P.; OLIVEIRA, M. R. N. (Org.). **Desvendando a engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade-volume 2**. São Paulo: Editora Científica Digital, 2021. p. 246-267.

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS PARA SECAGEM CONVENCIONAL DA MADEIRA DE *Qualea paraensis* Ducke

Erleide Paula Santos Veríssimo¹; Amanda dos Santos Ferreira²; Márcia Cristiane Alves²; Beatriz Aparecida Nunes Simão¹; Emmanoella Guaraná^{1,2}; Fábio Henrique Della Justina do Carmo¹; Thiago Cardoso Silva¹; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas^{1,2*}

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

*Adriano Reis Prazeres Mascarenhas: adriano.mascarenhas@unir.br

Resumo: A secagem da madeira proporciona redução da instabilidade dimensional, otimiza a trabalhabilidade, melhora da resistência mecânica e impacta nos custos de transporte. O objetivo deste trabalho foi obter parâmetros de secagem para a espécie *Qualea paraensis*, por meio da secagem drástica. Com os dados obtidos, elaborou-se um programa de secagem subdividido em quatro etapas, sendo elas: pré-secagem, secagem, uniformização e condicionamento. A madeira atingiu condição anidra em 9 h de secagem. A velocidade de secagem foi maior na fase inicial (0,031 g/h cm²), diminuindo significativamente nas fases finais devido à dificuldade de remoção da água de impregnação. Em relação aos resultados da secagem drástica, a temperatura inicial foi de 49 °C, temperatura final foi de 61 °C e potencial de secagem de 1,9. Os resultados indicaram a possibilidade de aplicação de programas de secagem suaves, visando evitar a ocorrência de rachaduras. Recomenda-se a elaboração de novos programas de secagem que considerem as particularidades de outras espécies tropicais.

Palavras-chave: Madeira tropical; Umidade da madeira; Defeitos de secagem.

ESTIMATES OF PARAMETERS FOR CONVENTIONAL DRYING OF WOOD OF *Qualea paraensis* Ducke

Abstract: Drying wood reduces dimensional instability, optimizes workability, improves mechanical strength and impacts transport costs. This study aimed to develop drying parameters for the *Qualea paraensis* species using drastic drying. Using the data obtained, a drying program was drawn up, subdivided into four stages: pre-drying, drying, uniformization, and conditioning. The wood reached an anhydrous condition in 9 hours of drying. The drying speed was highest in the initial phase (0.031 g/h cm²), decreasing significantly in the final phases due to the difficulty in removing the impregnation water. Concerning the results of drastic drying, the initial temperature was 49 °C, the final temperature was 61 °C, and the drying potential was 1.9. The results indicate that gentle drying programs can be applied to prevent cracking. It is recommended that new drying programs be developed that consider the particularities of other tropical species.

Keywords: Tropical wood; Wood moisture; Drying defects.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia abriga centenas de espécies arbóreas tropicais com grande potencial madeireiro cuja variabilidade se reflete diretamente nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (TAVARES *et al.*, 2024). No entanto, muitas dessas espécies ainda são pouco estudadas quanto as suas propriedades físicas e anatômicas (MEDEIROS *et al.*, 2021), variáveis essenciais para o adequado processamento, especialmente no que se refere ao processo de secagem.

A ausência de dados específicos contribui para a adoção de procedimentos genéricos, muitas vezes ineficientes para determinadas espécies, comprometendo o aproveitamento e a valorização dos recursos florestais. A secagem adequada da madeira proporciona diversos benefícios, incluindo maior estabilidade dimensional, melhor trabalhabilidade, aumento da resistência mecânica, redução de custos logísticos e elevação da qualidade do produto (ROCHA *et al.*, 2024; OLIVEIRA; OLIVEIRA; MASCARENHAS, 2024).

Embora a secagem ao ar livre ainda seja amplamente utilizada, seu longo tempo de execução e a dependência de condições climáticas limitam sua eficiência. Neste contexto, torna-se essencial o conhecimento e a aplicação de técnicas que reduzam o tempo de secagem, minimizem defeitos e garantam a estabilidade dimensional da madeira (TALGATTI *et al.*, 2020). Sobretudo a partir do desenvolvimento dos programas de secagem mais adequados para cada espécie (SILVA *et al.*, 2018; MARTINS; MARQUES; GOUVEIA, 2019).

Com isso, a hipótese do estudo é que o programa de secagem desenvolvido para o cambará (*Qualea paraensis* Ducke) possa reduzir tanto o tempo de secagem quanto a ocorrência de defeitos na madeira. Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um programa de secagem para a madeira de cambará, com base no método de secagem drástica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de cambará (*Qualea paraensis* Ducke) utilizada no estudo foi coletada em uma madeireira localizada no município de Alto Alegre dos Parecis, Rondônia. As toras encontravam-se no pátio da empresa há aproximadamente 25 dias. De cada tora, retirou-se um disco com cerca de 9 cm de espessura, que foi posteriormente seccionado em 11 amostras nas dimensões 7,5 cm x 5,0 cm x 1,0 cm e acondicionadas em sacos plásticos até o momento da secagem em estufa.

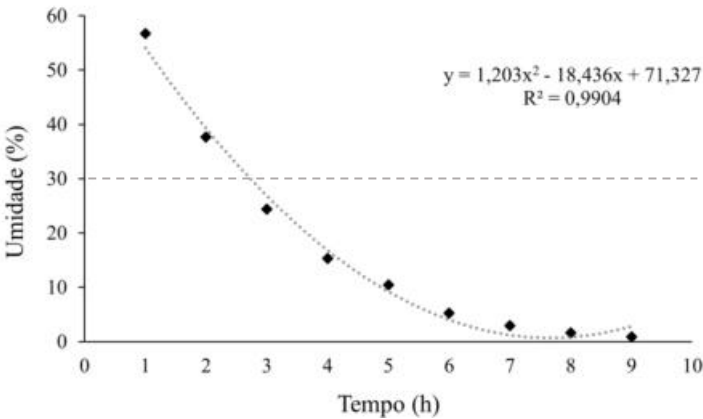
Antes do início da secagem drástica, as amostras foram identificadas e pesadas em balança semi-analítica para obtenção da massa inicial. Em seguida, foram colocadas em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, onde permaneceram por 9 h consecutivas. Durante esse período, foram realizadas pesagens e inspeções visuais a cada 1 h, com o objetivo de verificar a ocorrência de colapso e rachaduras. Após as 9 h iniciais, as pesagens passaram a ser realizadas a cada 12 h, até que as amostras atingissem massa constante.

Após o processo de secagem, foram calculadas as velocidades e tempos de secagem do teor de umidade inicial até umidade de 5%, da umidade inicial até o ponto de saturação de fibras (30%), e umidade do PSF até a umidade 5%, além do índice de rachaduras (CINIGLIO, 1998). Esses dados foram utilizados posteriormente para obtenção dos parâmetros empregados no desenvolvimento do programa de secagem, sendo eles: temperatura inicial (TI), temperatura final (TF) e potencial de secagem (PS) (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; CINIGLIO, 1998).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira de cambará continha a umidade inicial de 57%, e quando submetida ao processo de secagem drástica, atingiu a condição anidra em aproximadamente 9 h (Figura 1). A redução mais acentuada da umidade indica a eliminação da água livre presente nos lúmens logo nas primeiras 2:30 h, atingindo umidade próxima ao PSF.

Figura 1: Cinética de dessorção de água da madeira de cambará (*Qualea paraensis* Ducke) determinada pelo método de secagem drástica.



A partir do PSF, a taxa de perda de umidade começa a diminuir de forma gradativa, indicando o início da remoção da água de impregnação, que se encontra localizada nas paredes celulares e cuja eliminação é naturalmente mais lenta (AMORIM; PAES; NICÁCIO, 2021). Esse comportamento reflete um padrão típico do processo de secagem, em que se observa um menor tempo e maior velocidade de secagem da fase inicial até o PSF (Tabela 1). As temperaturas inicial e final do programa de secagem corresponderam a 48,76°C e 60,54°C, respectivamente. O potencial de secagem (PS) foi de 1,90.

Tabela 1: Parâmetros de secagem para a madeira de cambará (*Qualea paraensis* Ducke), obtidos pelo método de secagem drástica: Tempo de secagem da umidade inicial até o 5% (T1); Tempo de secagem da umidade inicial até o PSF (T2); Tempo de secagem do PSF até 5% (T3); Velocidade de secagem da umidade inicial do PSF até 5% (V1); Velocidade de secagem de umidade inicial até o PSF (V2); Velocidade de secagem do PSF até 5% (V3).

Parâmetros	Umidade inicial até 5% (1)	Umidade inicial até o PSF (2)	PSF até 5% (3)
Velocidade de secagem (g/h cm²) (V)	0,023	0,031	0,020
Tempo de secagem (h) (T)	5,89	2,40	3,48

Essa tendência também foi observada por Santos (2025), ao realizar o programa de secagem para diferentes espécies tropicais. Esses resultados são importantes, pois permitem um planejamento mais preciso do processo de secagem, incluindo a estimativa do tempo necessário, quantidade de energia utilizada e controle da aplicação de calor ao longo do processo (LIMA *et al.*, 2019). Além disso, esse planejamento permite minimizar, ou até mesmo evitar, a ocorrência de defeitos associados à secagem da madeira.

Após a secagem drástica foi observada a presença de rachaduras e empenamentos na madeira de cambará, quando o processo de secagem ocorreu abaixo do PSF. Este fenômeno ocorre devido às variações dimensionais apresentadas pela madeira abaixo do PSF, contraindo-se pela perda de umidade. Essas variações dimensionais resultam em defeitos nas peças, os quais podem ser minimizados com o controle adequado do processo de secagem (BRAZ *et al.*, 2015).

O programa de secagem desenvolvido para madeira de cambará, com base nos parâmetros obtidos, foi subdividido em quatro etapas: pré-secagem, secagem, uniformização e condicionamento. O programa de secagem foi considerado suave, adotando como referência a umidade de equilíbrio da madeira de 12% e um PS de 1,9. No programa, a etapa de pré-secagem seria responsável pela redução de aproximadamente 54,4 % do teor de água na madeira considerando a diferença entre a umidade inicial e o PSF (Tabela 2).

Tabela 2. Programa de secagem desenvolvido para a madeira de cambará (*Qualea paraensis* Ducke): contendo as etapas de secagem, umidade da madeira (UM), temperatura de bulbo seco (Tbs); Temperatura de bulbo úmido (Tbu); Depressão psicrométrica (Dp); Umidade relativa do ar (UR); Umidade de equilíbrio da madeira (UEM) e potencial de secagem (PS).

Etapas	UM (%)	Tbs (°C)	Tbu (°C)	Dep	URA (%)	UEM (%)	PS
Pré -Secagem	Aquecimento	49	48	1	95	21,6	*
Pré -Secagem	57	49	46	3	84	16,0	3,6
Pré -Secagem	55	49	46	3	84	16,0	3,4
Pré -Secagem	53	49	46	3	84	16,0	3,3
Pré -Secagem	51	49	46	3	84	16,0	3,2
Pré -Secagem	49	49	46	3	84	15,6	3,1
Pré -Secagem	47	49	45,5	3,5	81	15,2	3,1
Pré -Secagem	45	49	45,5	3,5	81	14,8	3,0
Pré -Secagem	43	49	45,5	3,5	81	14,4	3,0
Pré -Secagem	41	49	45	4	79	14,0	2,9
Pré -Secagem	39	49	45	4	79	13,6	2,9
Pré -Secagem	37	49	44,5	4,5	76	13,2	2,8
Pré -Secagem	35	49	44,5	4,5	76	12,8	2,7
Pré -Secagem	33	49	44	5	74	12,4	2,7
Pré -Secagem	31	49	43,5	5,5	72	15,5	2,0
1	26	52	43	9	57	13,0	2,0
2	21	55	44	11	51	10,5	2,0
3	16	58	40	18	31	8,0	2,0
Secagem	12	61	33	28	14	6,0	2,0
Uniformização		65	58	7	68	10,0	*
Condicionamento		65	62,5	2,5	88	16,0	*

Quanto maior o potencial de secagem mais eficiente será remoção de umidade da madeira (LOIOLA *et al.*, 2019). Contudo, também é maior a probabilidade de incidência de defeitos, especialmente quando não há controle adequado das condições de temperatura e umidade relativa ao longo do processo.

Na etapa de secagem, ocorreu aumento da Tbs, acompanhado pela redução da Tbu e da umidade relativa. Essa combinação de fatores intensificou o gradiente de secagem, favorecendo a remoção de parte da água de impregnação presente na madeira. Na etapa de condicionamento, foram ajustados valores de Tbs e Tbu mais elevados, associados ao aumento da umidade relativa, com objetivo de igualar a umidade entre as peças e o gradiente interno, visando reduzir a probabilidade do surgimento de defeitos como rachaduras e empenamentos. Na etapa de condicionamento, a Tbs permanece constante e a Tbu e umidade relativa são aumentadas, promovendo a estabilidade dimensional da madeira, por meio do relaxamento das tensões (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

A secagem da madeira também pode reduzir a presença de defeitos e aumentar sua estabilidade dimensional e desempenho em uso. Além disso, esse processo agrega valor ao produto, aumenta sua durabilidade, redução de perdas, e contribui para a diminuição dos custos de transporte (OLIVEIRA *et al.*, 2024).

De modo geral, os resultados obtidos indicam a adoção de parâmetros adequados de temperatura, umidade relativa do ar e tempo de secagem para a madeira de cambará. Além disso reforçam a importância do controle técnico da secagem artificial como ferramenta para agregar valor ao produto, aumentar sua durabilidade, reduzir perdas e melhor a eficiência logística no setor madeireiro. Essas características contribuem para a otimização do processo, resultando em um produto de maior qualidade.

4. CONCLUSÃO

A madeira de cambará alcançou a condição anidra em aproximadamente 9 h na estufa, apresentando maior velocidade e tempo de secagem nas primeiras etapas, principalmente na remoção da umidade inicial até o PSF. Foi possível elaborar um programa de secagem para a madeira de cambará, porém com a observação de defeitos de secagem nas peças avaliadas, o que contribuiu para a obtenção de um programa de secagem suave. Assim, recomenda-se, ao aplicar o programa, a adoção de temperaturas mais brandas durante a secagem artificial para evitar defeitos, sobretudo rachaduras e empenamentos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. P.; PAES, J. B.; NICÁCIO, M. A. Anisotropia da contração e inchamento da madeira: uma abordagem tecnológica. In: EVANGELISTA, W. V. (Org) **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: Científica Digital, p. 81 - 100, 2021.
- BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; MOTTA, J. P.; ROSADO, A. M. Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 117 - 123, 2015.
- CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.
- LIMA, N. S.; SILVA, H. A. P.; MARCHESAN, R.; SOUZA, P. B. Indicação de um programa de secagem para espécie nativa do cerrado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 4, p. 434 - 442, 2019.
- LOIOLA, P. L.; MARCHESAN, R.; FRANÇA, M. C.; JUÍZO, C. G. F.; ROCHA, M. D.; KLITZKE, R. J. Yield of a portable sawmill and wood drying of *Hovenia dulcis* in conventional kiln. **Floresta**, v. 49, n. 1, p. 079 - 088, 2019.
- MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B.; GOUVEIA, F. N. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1469 - 1477, 2019.
- MEDEIROS, D. T. D.; MELO, R. R. D.; CADEMARTORI, P. H. G. D.; BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A. R. P. Caracterização da madeira de espécies da Amazônia. **Madera y bosques**, v. 27, n. 2, 2021.
- OLIVEIRA, S.; OLIVEIRA, L. V. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Redução de custos de transporte de madeiras tropicais comercializadas em Rondônia por meio da secagem. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 23 - 36, 2024.
- ROCHA, V. G.; ROCHA, M. L.; RODRIGUES, C. B.; RIBEIRO, M. X. Secagem da madeira: prospecção tecnológica sobre os métodos utilizados. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 20, n. 2, p. 101 - 104, 2024.

SANTOS, G. R. V. Programas de secagem baseados em escore de defeitos para espécies tropicais. **Advances in Forestry Science**, v. 12, n. 1, 2025.

SILVA, O.; SANTANA, L.; STEVENS, T.; SOUZA, D.; FINOTI, A. C. Curva de secagem em madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 09, 2018.

TALGATTI, M.; BALDIN, T.; SANTINI, E. J.; ROSSO, S.; OLIVEIRA, L. H.; VALCORTE, G. Secagem da madeira de *Hovenia dulcis* e *Eucalyptus tereticornis* em forno micro-ondas com diferentes potências de temperatura. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1121 - 1128, 2020.

TAVARES, S. F.; SOUZA, B. A. C.; CHILETTO, T. D. O.; INO, A. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira. Projetar e construir com madeira**. São Paulo: Blucher, 2024.

VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp., EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO

*Carlos Eduardo Barbosa da Silva^{1*}; Jessica Silva Santos¹; Arthur Pedro Alves Fernandes¹; Gabriel Almeida Bastos de Bastos¹; Luiza Catarina Lobo de Godoi¹; Jhonatan Willian Moreira; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Junior¹.

¹ Universidade Federal de Goiás, Departamento de Engenharia Florestal, Goiânia, Brasil.

*Carlos Eduardo Barbosa da Silva (e-mail): silva_barbosa@discente.ufg.br

Resumo: A densidade básica é uma das características da madeira que utilizada como parâmetro para diversas transformações industrial, em função de sua importância para trabalhabilidade da matéria prima. Frente aos outros parâmetros de qualidade, a densidade básica tornou-se uma das principais características estudadas. No entanto, em função do seu rápido crescimento, o eucalipto é colhido ainda com pouca idade, aproximadamente aos 84 meses, quando há maior proporção de lenho juvenil, afetando a densidade básica da madeira. O objetivo deste estudo foi determinar a variação da densidade básica da madeira no sentido longitudinal de cinco clones de *Eucalyptus* spp., em um sistema integrado de produção. As árvores selecionadas para estudo apresentaram uma média total igual a 0,426g/cm³, onde as de maiores densidades básicas foram dos clones C4 (0,455 g/cm³), C5 (0,437 g/cm³) e C3 (0,431). O clone com menor densidades foi o C1 (0,389 g/cm³). Os clones de 60 meses de idade apresentaram aptos para produção de celulose, destacando-se o clone C4, que apresentou as maiores médias de densidade, revelando boa adaptação para as condições da região do estudo em sistema integrado de produção.

Palavras chave: Silvicultura; Madeira; ILPF.

VARIATION OF BASIC DENSITY OF *Eucalyptus* spp. CLONES IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM

Abstract: The objective of this study was to determine the variation in the basic density of wood in the longitudinal direction of five clones of *Eucalyptus* spp., in an integrated production system. Basic density is one of the characteristics of wood that is used as a parameter for various industrial transformations, due to its importance for the workability of the raw material. Compared to other quality parameters, basic density has become one of the main characteristics studied. However, due to its rapid growth, eucalyptus is harvested at a young age, approximately 84 months, when there is a greater proportion of juvenile wood, affecting the basic density of the wood. The trees selected for study presented a total average equal to 0.426 g/cm³, where the highest basic densities were clones C4 (0.455 g/cm³), C5 (0.437 g/cm³) and C3 (0.431). The clone with the lowest densities was C1 (0.389 g/cm³). The 60-month-old clones were suitable for cellulose production, with clone C4 standing out as having the highest average density, revealing good adaptation to the conditions of the study region in an integrated production system.

Keywords: Forestry; Wood quality; ILPF.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro atual planta cerca de 1,8 milhão de árvores por dia, oferecendo uma variedade de produtos derivados do eucalipto, com mais de 10 milhões de hectares de árvores

cultivadas, o setor florestal brasileiro tem transformado solos antropizados em plantações florestais, ampliando a área de cultivo, especialmente na Região Centro-Oeste, como no Estado de Mato Grosso do Sul. Esse processo tem contribuído para a recuperação de áreas de pastagem de baixa produtividade, com o manejo sustentável do eucalipto promovendo a remoção de carbono da atmosfera, o que confere ao setor um importante papel ambiental e social (Reis *et al.*, 2021; IBÁ, 2024).

A alta produtividade devido ao melhoramento genético, ao manejo florestal e às condições edafoclimáticas favoráveis, demonstra crescente demanda por usos múltiplos da madeira do *Eucalyptus* spp., (NUNES *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2017). Os programas de melhoramento florestal, que incorporam testes de progênes e testes clonais, buscam a recombinação genética para selecionar indivíduos propícios à plantios de alta produção e com qualidade da madeira desejada para os diversos usos (RESENDE; ALVES, 2021). A madeira apresenta características distintas que possibilitam sua utilização em diversas finalidades, incluindo a geração de energia, a construção civil, projetos arquitetônicos, a produção de polpa celulósica e papel, a fabricação de painéis à base de madeira, entre outras (FERREIRA, 2013).

Em sistemas integrados, como os de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o espaçamento entre os componentes arbóreos desempenha um papel relevante, pois geralmente é maior do que em sistemas convencionais. Esse arranjo favorece o crescimento em diâmetro e volume individual das árvores (ROCHA *et al.*, 2002) e influencia as características da madeira. Propriedades como a densidade básica podem ser impactadas pelos arranjos espaciais adotados nos plantios. Entretanto, mesmo com o rápido crescimento das árvores nesses sistemas, o corte geralmente ocorre quando a maior parte do lenho ainda é juvenil (SETTE JUNIOR, *et al.*, 2012). Diante desse cenário, o objetivo do trabalho foi determinar a variação da densidade básica da madeira no sentido longitudinal de cinco clones de *Eucalyptus* spp., em um sistema integrado de produção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo utilizado para alcançar os objetivos deste estudo, foi instalado em janeiro de 2018 na cidade de Morrinhos, no estado de Goiás, Brasil, por meio de parceria entre o Instituto Federal Goiano, EMATER Goiás, Assistech Ltda, Embrapa, Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade Federal de Lavras (UFLA). O experimento foi instalado no delineamento experimental de blocos casualizados, utilizando espaçamento de 4 x 10 m entre linhas simples e contando com 40 tratamentos (clones), 6 repetições e 5 plantas por parcela. Durante o desenvolvimento do experimento foram realizados os tratos silviculturais usuais para a cultura do eucalipto, bem como avaliações de diâmetro à altura do peito, altura da árvore e dados qualitativos do fuste.

Na idade de 60 meses (2023) foram selecionados cinco clones (Tabela 1) que apresentaram os maiores incrementos médios anuais (IMA). Destes clones, foram selecionadas e cortadas cinco árvores, totalizando 25 árvores amostradas (5 árvores x 5 clones).

Tabela 1: Código dos clones selecionados.

Códigos	Clones
C1	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
C2	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
C3	<i>E. urophylla</i>

C4	<i>E. urophylla x E. grandis</i>
C5	<i>E. urophylla x E. grandis</i>

Das árvores selecionadas foram cortados discos de madeira em diferentes posições longitudinais do tronco: base (0% de altura), diâmetro à altura do peito (DAP), 25%, 50% e 75% da altura comercial (equivalente a 6 cm de diâmetro), a fim de compor uma amostra representativa das árvores. A determinação da densidade básica foi pelo método de imersão em água descrito de acordo com Vital (1984), para cada um dos pontos de amostragem ao longo do fuste, e pela NBR 11941/2003 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Primeiramente, os discos foram identificados com o número correspondente à sua espécie e à posição longitudinal no fuste. Em seguida, as amostras foram armazenadas em um recipiente e submersas em água por 30 dias até atingirem o ponto máximo de saturação.

Após a saturação, as cascas dos discos foram removidas, e os mesmos foram pesados em uma balança de precisão de 0,01 g para a determinação do volume saturado. Posteriormente, as amostras foram colocadas em uma estufa aquecida a 105 °C (± 2 °C), onde permaneceram por 48 horas, tempo necessário para alcançar a massa seca constante. Após esse período, foram novamente pesadas para a obtenção do peso seco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de densidade básica da madeira observadas entre os clones com 60 meses, variaram entre 0,375 g/cm³ e 0,466 g/cm³ ao longo do fuste, onde as de maiores densidades básica média foram dos clones C4 (0,455 g/cm³), C5 (0,437 g/cm³) e C2 (0,431), o clone com menor densidade básica média foi o C1 (0,389 g/cm³), (Tabela 2). Os valores de densidade básica estão de acordo com os citados na literatura por Santos *et al.*, (2011), Neves *et al.*, (2011) e Carneiro *et al.*, (2013), para a madeira de clones do gênero de *Eucalyptus* spp., suas densidades básicas apresentaram valores de coeficiente de variação entre 1% e 2% (Silva *et al.*, 2018) (Tabela 2). Mesmo se tratando de clones, a variação na densidade básica média da madeira foi da ordem de 10% a 15% – diferença entre valores máximo e mínimo.

Tabela 2: Valores médios da densidade básica dos clones de *Eucalyptus* spp., em sistema integrado de produção.

Códigos	Densidade Básica (g cm ⁻³)			
	Média	Máximo	Mínimo	CV (%)
C1	0,389	0,426	0,375	2,15
C2	0,431	0,450	0,424	1,01
C3	0,417	0,436	0,403	1,22
C4	0,455	0,466	0,438	1,07
C5	0,437	0,453	0,425	1,02

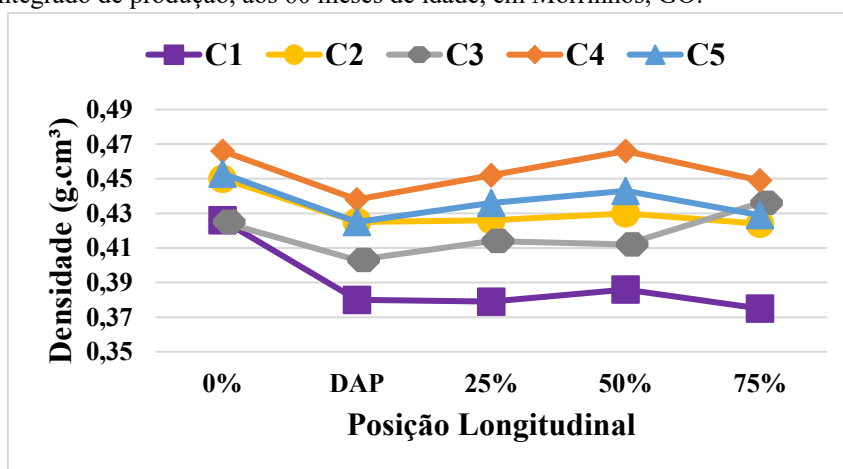
CV é coeficiente de variação em porcentagem (%), para cada variável.

Na figura 1, pôde-se observar uma diminuição em seu valor de densidade básica até a altura do peito, (0,380 g/cm³ 0,425 g/cm³ 0,403 g/cm³ 0,438 g/cm³ 0,425 g/cm³) e a partir desse ponto, uma tendência de aumento até a posição 50% (0,386 g/cm³ 0,430 g/cm³ 0,412 g/cm³ 0,466 g/cm³ 0,443 g/cm³) do tronco, seguido de um novo decréscimo na posição 75% (0,375 g/cm³ 0,424 g/cm³ 0,436

g/cm^3 0,449 g/cm^3 0,429 g/cm^3). Com exceção do clone C3 que aumentou de 0,412 g/cm^3 para 0,424 g/cm^3).

Os padrões de variação da densidade básica encontradas dos clones C1, C2, C4 e C5 (figura 1), foi identificado um padrão decrescente entre as posições de 0% a 25%, crescente desse ponto até o topo e novamente decrescente na posição final de 75% da altura comercial, assim como descrito por Andrade *et al.*, (2013), na densidade de espécies de *Eucalyptus grandis*. Diversos pesquisadores relatam a dificuldade de alcançar um consenso sobre o padrão de variação longitudinal da densidade básica, devido à influência de diversos fatores intrínsecos à madeira e extrínsecos que afetam as variações na densidade do lenho (GOULART *et al.*, 2003; HSING *et al.*, 2016).

Figura 1: Densidade básica da madeira (g cm^{-3}) ao longo do tronco, até a altura comercial (5,0 cm de diâmetro com casca) em sistema integrado de produção, aos 60 meses de idade, em Morrinhos, GO.



O clone C3 apresenta padrões que mostram elevada densidade básica nas regiões basal e apical do fuste, provavelmente relacionados às exigências mecânicas de sustentação do tronco e da copa das árvores da espécie de *Eucalyptus* spp., principalmente em resposta a ação dos ventos. Como consequência, ocorrem modificações estruturais no xilema secundário visando à formação de lenho de reação, tal como a redução na produção de elementos vasculares e diâmetro desses elementos ventos (SETTE JUNIOR, *et al.*, 2012).

De acordo com alguns autores, a densidade básica da madeira considerada alta, ou ideal, para fins energéticos é superior a 0,500 g/cm^3 (CASTRO *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2013). O comportamento do clone C4, foi o mais próximo do esperado para finalidade energética, além de apresentar umas das maiores densidades básicas da madeira (0,455 g.cm^3), também teve uma baixa variação desses valores ao longo do fuste. Segundo Silva *et al.* (2001). A variação da densidade básica da madeira para produção de celulose deve ser entre 0,400 a 0,500 g/cm^3 , ao contrário, pode afetar diretamente na qualidade dos cavacos, efeitos na operação de cozimento e também na qualidade da celulose resultante.

É importante destacar também a necessidade de realizar análises mais detalhadas sobre os genótipos e sobre as características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas dos indivíduos de *Eucalyptus* spp., em sistemas integrados de produção selecionados nesse estudo. Isto permitirá selecionar com maior precisão quais seriam os melhores indivíduos para serem matrizes em plantios clonais, visando a produção de bioenergia de qualidade e com um alto rendimento (ALZATE *et al.*, 2005; NEVES *et al.*, 2013).

4. CONCLUSÃO

Os clones de 60 meses de idade apresentaram aptos para produção de celulose, destacando-se o clone C4, que apresentou as maiores médias de densidade, revelando boa adaptação para as condições da região em estudo em sistema integrado de produção, e apresentou resultados de densidade básica da madeira satisfatórias mais próximas da esperada para produção de biomassa energética em 60 meses, seja na forma de lenha ou carvão vegetal. É importante destacar a importância e necessidade de se realizar outras análises sobre as características genéticas, anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira, para indicar o real potencial dos indivíduos de *Eucalyptus* spp., em sistemas integrados de produção.

REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, Mário; PIEDADE, Sônia Maria de Stefano. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *uriphylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.

ANDRADE, F. W. C.; MOUTINHO, V. H. P. Análiseda variação longitudinal da densidade básica em três clones de *Eucalyptus*. **I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira – CBCM**, 2013.

CASTRO, Ana Flávia Neves Mendes et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 627-635, 2013.

DE RESENDE, Marcos Deon Vilela; ALVES, Rodrigo Silva. Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção.

DE SOUZA, FML et al. Características de crescimento, densidade básica e composição química da madeira de *Eucalyptus* spp na região de Ribas do Rio Pardo-MS. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 4, pág. 350-359, 2017.

FERREIRA, Angel Thiane Boschiero. Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corymbia* sp. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

GOULART, M. et al.. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis*, sob o Efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F. DE; PAULA, R. C. DE. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, p. 273-283, 2016.

NUNES, Ítalo Lima et al. Variabilidade espacial de clones de Eucalipto em função do preparo de solo e adubações. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 12334-12349, 2020.

SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R. DE; FILHO, M. T.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SILVA, J. et al, Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista de madeira**, Curitiba, p.90-92, set. 2001. Suplemento especial.

SILVA, Macksuel Fernandes da; FORTES, Myla Medeiros; SETTE JUNIOR, Carlos Roberto. Characteristics of wood and charcoal from Eucalyptus clones. **Floresta e Ambiente**, v. 25, 2018.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação da estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* aos 7 anos. **In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DA MADEIRA**, 7., 2002, Uberlândia, MG. Anais [...]. Uberlândia: UFU, 2002. p. 1-10.

VITAL, Benedito Rocha. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Viçosa, MG: SIF**, v. 501, 1984.

PROGRAMA DE SECAGEM PARA MADEIRA DE *Erisma uncinatum* Warm.

Beatriz Aparecida Nunes Simão¹; Amanda dos Santos Ferreira²; Márcia Cristiane Alves²; Erleide Paula Santos Veríssimo¹; Emmanoella Guaraná^{1,2}; Fábio Henrique Della Justina do Carmo¹; Thiago Cardoso Silva^{1*}; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas^{1,2}

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

*Thiago Cardoso Silva: thiago.silva@unir.br

Resumo: Na Amazônia a secagem artificial da madeira pode otimizar o tempo de secagem e elevar a qualidade do produto, embora exija investimentos tecnológicos e conhecimento técnico. O objetivo do estudo foi realizar a secagem drástica e desenvolver o programa de secagem da madeira de cedrinho (*Erisma uncinatum*). A madeira foi submetida a secagem drástica e com base nos dados obtidos, elaborou-se um programa de secagem dividido em pré-secagem, secagem, uniformização e condicionamento. A madeira demandou 9 h para atingir a condição anidra, sem ocorrência de defeitos. A velocidade de secagem do PSF até 5% foi de 0,024 g/h cm², o valor de temperatura inicial foi de 40,69 °C, a temperatura final foi de 63,72 °C e o potencial de secagem foi de 1,3. O programa de secagem desenvolvido pode ser considerado suave e tem potencial para reduzir o tempo de secagem da madeira para 7 h de residência em estufa, visando atenuar a ocorrência de defeitos.

Palavras-chave: Secagem artificial; Madeiras tropicais; Defeitos na madeira.

DRYING PROGRAM FOR *Erisma uncinatum* Warm. WOOD

Abstract: Artificial drying of wood in the Amazon can optimize drying time and increase product quality, although it requires technological investment and technical know-how. The aim of this study was to carry out drastic drying and develop a drying program for cedar wood (*Erisma uncinatum*). The wood was subjected to drastic drying and, based on the data obtained, a drying program was drawn up, divided into pre-drying, drying, uniformization and conditioning. The wood took 9 hours to reach anhydrous condition, with no defects. The drying speed of PSF up to 5% was 0.024 g/h cm², the initial temperature was 41 °C, the final temperature was 64 °C and the drying potential was 1.3. The drying program developed can be considered gentle and has the potential to reduce the drying time of the wood to 7 h of residence in the kiln, to mitigate the occurrence of defects.

Keywords: Artificial drying; Tropical woods; Wood defects.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, uma das maiores reservas naturais do mundo, se destaca por sua alta biodiversidade de fauna e flora, sobretudo de madeiras tropicais. A região apresenta condições edafoclimáticas específicas, como alto índice pluviométrico, variações de temperatura e da umidade relativa do ar ao longo do ano (BRITO *et al.*, 2022), o que torna desafiador o processo de secagem da madeira na região, sobretudo quando realizada de forma natural.

A secagem da madeira busca reduzir sua umidade, promovendo maiores estabilidade dimensional e resistência a ataques de agentes xilófagos e redução de custos de transporte (WILLEMS; ALTGEN, 2020). Assim, a escolha do método de secagem impacta o tempo de processamento, a qualidade do material e a obtenção da umidade de equilíbrio ideal (SUSIN *et al.*, 2014).

As condições edafoclimáticas da região demandam técnicas mais controladas, como a secagem artificial, que, embora mais eficiente, requer investimentos tecnológicos e conhecimento técnico especializado, sendo pouco adotada na região (FERNANDES; BRAGA; BRAGA JUNIOR, 2021). Ademais, a escassez de estudos sobre as características físicas e anatômicas das espécies locais dificulta a elaboração de programas de secagem específicos, fundamentais para minimizar defeitos do processo.

Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos referentes a caracterização das propriedades das madeiras tropicais e ao aprimoramento das técnicas de secagem. A hipótese do estudo é que a elaboração do programa de secagem para a madeira da espécie de cedrinho (*Erismia uncinatum*), pode reduzir ou mitigar a ocorrência de defeitos durante o processo de secagem da madeira. Assim, o objetivo deste estudo foi realizar o procedimento de secagem drástica e desenvolvimento de um programa de secagem para a madeira de cedrinho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e processamento das amostras

Para realização do estudo, foram coletadas peças recém desdobradas da madeira de cedrinho em uma serraria no município de Rolim de Moura, RO, com teor de umidade de aproximadamente 65%. As amostras foram seccionadas em 10 corpos de prova com dimensões de 7,5 cm x 5,0 cm x 1,0 cm, e sua massa úmida foi determinada em balança semi-analítica.

2.2. Procedimento de secagem drástica

Os corpos de prova foram submetidos à secagem drástica em estufa de circulação forçada a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa constante, sendo posteriormente levados ao dessecador até equilíbrio térmico. A pesagem das amostras e a observação dos defeitos de secagem (colapsos e rachaduras) foram realizadas a cada h durante 9 h consecutivas, e em seguida a cada 12 h, até a condição anidra. Com isso, foram calculadas as velocidades de secagem total (CINIGLIO, 1998), da umidade inicial até 5% (V1), da umidade inicial até o ponto de saturação das fibras (PSF) (V2) e do PSF (30%) até 5% (V3).

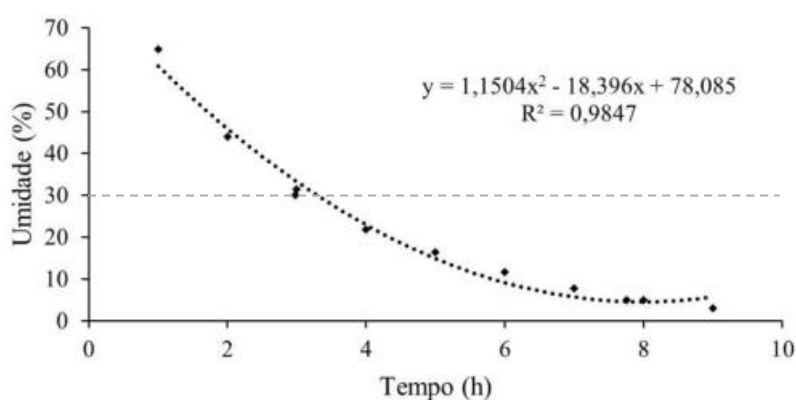
2.3. Desenvolvimento do programa de secagem

Os parâmetros do programa de secagem, incluindo potencial de secagem (PS), temperatura inicial (TI) e final (TF) foram calculados de acordo com modelos de Galvão e Jankowsky (1985) e Ciniglio (1998). Esses parâmetros foram utilizados para elaboração do programa de secagem. Foi considerada a umidade de equilíbrio da madeira de 12%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira de cedrinho levou em torno de 9 h para alcançar a condição anidra (Figura 1), a partir do método de secagem drástica. Durante o procedimento, observou-se redução acentuada da umidade nas três primeiras horas, período em que a madeira atingiu umidade próxima ao PSF, correspondente à eliminação da água livre presente nos espaços vazios das células.

Figura 1: Cinética de dessorção de água da madeira de cedrinho (*Erismia unciatum* Warm.) determinada pelo método de secagem drástica.



A partir do PSF, a perda de umidade torna-se mais lenta e gradual, pois inicia-se a remoção da água de impregnação, fortemente retida na parede celular (AMORIM; PAES; NICÁCIO, 2021). Esse comportamento também é evidenciado pela comparação entre as velocidades e o tempo de secagem: até o PSF é, em média, 61% superior às fases subsequentes até atingir 5% de umidade (Tabela 1). A TI e TF do programa de secagem foram 40,69°C e 63,72°C, respectivamente, e o PS foi de 1,28.

Tabela 2: Parâmetros de secagem madeira de cedrinho (*Erismia unciatum* Warm.), obtidos pelo método de secagem drástica: Velocidade de secagem da umidade inicial até 5 % (V1); Velocidade de secagem da umidade inicial até o PSF (V2); Velocidade de secagem do PSF até 5% (V3); Tempo de secagem da umidade inicial até o 5% (T1); Tempo de secagem da umidade inicial até o PSF (T2); Tempo de secagem do PSF até 5% (T3).

Parâmetros	Umidade inicial até 5% (1)	Umidade inicial até o PSF (2)	PSF até 5% (3)
Velocidade de secagem (g/h cm²) (V)	0,023	0,038	0,024
Tempo de secagem (h) (T)	7,76	2,98	4,78

A eliminação da água livre presente na madeira ocorre com maior facilidade e menor demanda energética, resultando em maior velocidade de secagem. Porém, ao atingir umidade abaixo do PSF, essa velocidade diminui. O PS obtido para o cedrinho é inferior aos valores comumente encontrados para espécies tropicais, >1,8 (ELEOTÉRIO; SILVA, 2012; SANTOS *et al.*, 2025), indicando a necessidade de uma estratégia mais cautelosa, voltada à preservação da integridade estrutural da madeira.

Durante todo o processo, a temperatura foi aumentada gradualmente, visando acelerar a redução da umidade sem provocar defeitos. Para garantir eficiência na secagem e preservar as propriedades físicas da madeira, é essencial o controle rigoroso da temperatura e da umidade relativa do ar (SOUZA *et al.*, 2021). Assim, o programa de secagem deve ser cuidadosamente estruturado, com parâmetros adequados a cada etapa, assegurando a qualidade final do produto.

O programa de secagem desenvolvido para a madeira de cedrinho foi subdividido em etapas de pré-secagem, secagem, uniformização e condicionamento, com parâmetros específicos de controle rigoroso de temperatura, umidade relativa do ar e potencial de secagem. Na fase de pré-secagem, observou-se uma redução de 46% da umidade em relação à umidade inicial (Tabela 2). Como não foram observados defeitos durante o processo, os parâmetros do programa de secagem foram calculados sem a influência de colapsos ou rachaduras.

Tabela 3: Programa de secagem da madeira de cedrinho, contendo as etapas de secagem, umidade da madeira (UM), temperatura de bulbo seco (Tbs); Temperatura de bulbo úmido (Tbu); Depressão psicrométrica (Dp); Umidade relativa do ar (UR); Umidade de equilíbrio da madeira (UEM) e potencial de secagem (PS).

Etapas	UM (%)	Tbs (°C)	Tbu (°C)	Dp	UR (%)	UEM (%)	PS
Pré-secagem	Aquecimento	41,0	40,0	1,0	94,0	21,5	**
Pré-secagem	65,0	41,0	38,0	3,0	80,0	16,0	3,1
Pré-secagem	50,0	41,0	38,0	3,0	80,0	16,0	3,1
Pré-secagem	48,0	41,0	37,5	3,5	79,0	15,9	3,0
Pré-secagem	46,0	41,0	37,5	3,5	76,0	15,8	2,9
Pré-secagem	44,0	41,0	37,5	3,5	73,0	15,7	2,8
Pré-secagem	42,0	41,0	37,5	3,5	71,0	15,6	2,7
Pré-secagem	40,0	41,0	37,5	3,5	68,0	15,5	2,6
Pré-secagem	38,0	41,0	37,5	3,5	68,0	15,4	2,5
Pré-secagem	36,0	41,0	37,5	3,5	64,0	15,3	2,4
Pré-secagem	34,0	41,0	37,5	3,5	64,0	15,2	2,2
Pré-secagem	32,0	41,0	37,5	3,5	60,0	15,1	2,1
Pré-secagem	30,0	41,0	38,0	30	60,0	23,1	1,3
1	26,0	46,8	42,3	4,5	81,0	20,0	1,3
2	22,0	52,5	46,5	6,0	79,0	16,9	1,3
3	18,0	58,0	49,0	8,8	76,0	13,8	1,3
Secagem	12,0	64,0	53,0	11,0	57,0	9,2	1,3
Uniformização		64,0	58,0	6,0	68,0	10,0	**
condicionamento		64,0	62,5	2,0	88,0	16,0	**

A etapa de pré-secagem ocorre sob condições moderadas de temperatura e alta umidade relativa do ar, sendo gradualmente reduzida ao longo do processo. Após o PSF, o processo é intensificado, com foco na remoção da água de impregnação. Na fase de secagem, a temperatura é aproximadamente 12% maior do que na fase de pré-secagem. Nesta etapa, a madeira é submetida a elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, com controle rigoroso das variáveis para garantir a eficiência sem comprometer a integridade da madeira. A etapa ocorre até a madeira possuir aproximadamente os 12% de umidade.

Na uniformização, a temperatura permanece constante, mas a umidade relativa do ar é aumentada, para uniformizar a umidade entre as peças, reduzindo os gradientes internos (JANKOWSKY; GALINA, 2013). Na etapa final de condicionamento, a temperatura é similar à anterior, mas com umidade relativa do ar mais alta e a umidade de equilíbrio sobe para 16%, aliviando tensões internas e aumentando a estabilidade dimensional, prevenindo defeitos após o armazenamento ou uso final (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

Comparado à secagem ao ar livre, o processo artificial oferece vantagens em termos de tempo, como evidenciado por Braz *et al.* (2015), que relataram que a secagem natural de espécies folhosas pode levar cerca de 70 dias, enquanto a secagem artificial, quando bem controlada, reduz consideravelmente esse tempo. Além da otimização do tempo, a secagem artificial reduz a suscetibilidade ao ataque de agentes xilófagos, aumenta a vida útil do produto e reduz custos operacionais no transporte, pois a remoção da água excedente reduz o custo por carga (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MASCARENHAS, 2024).

Durante o processo de secagem, o comportamento da madeira e o tempo e velocidade de secagem variam conforme as propriedades da madeira de cada espécie. Santos (2025), ao avaliar os parâmetros de secagem de 17 madeiras tropicais, observou dificuldades na redução da umidade, indicando que a densidade, embora relevante, não deve ser analisada isoladamente, pois a velocidade e o tempo de secagem dependem de características internas da madeira. Assim, torna-se fundamental o desenvolvimento de programas de secagem específicos e adaptados a cada espécie para garantir a qualidade final da madeira, como no caso das especificidades para secagem da madeira de cedrinho.

4. CONCLUSÃO

A partir da secagem drástica foi possível elaborar um programa de secagem para a madeira de cedrinho. Durante o processo de secagem, a madeira não apresentou defeitos, porém deve-se adotar uma estratégia mais cautelosa de modo a garantir a qualidade do produto devido à possibilidade de ocorrerem rachaduras e empenamentos sob taxas de secagens mais elevadas abaixo do PSF. O programa de secagem desenvolvido pode ser considerado suave e tem potencial para reduzir o tempo de secagem da madeira para 7 h de residência em estufa, visando atenuar a ocorrência de defeitos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. P.; PAES, J. B.; NICÁCIO, M. A. Anisotropia da contração e inchamento da madeira: uma abordagem tecnológica. In: EVANGELISTA, W. V. (Org) **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: Científica Digital, p. 81 - 100, 2021.
- BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; MOTTA, J. P.; ROSADO, A. M. Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 117 - 123, 2015.
- BRITO, A. P. D.; SILVA, N. C. D.; TOMASELLA, J., FERREIRA, S. J. F.; MONTEIRO, M. T. F. Análise do índice de anomalia de chuva e tendência de precipitação para estações pluviométricas na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 19 - 30, 2022.
- CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.
- ELEOTÉRIO, J. R.; DA SILVA, C. M. K. Comparação de programas de secagem para cumaru (*Dipteryx odorata*), jatobá (*Hymenaea* spp) e muiracatiara (*Astronium lecointe*) obtidos por diferentes métodos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 537 - 545, 2012.

FERNANDES, M. L.; BRAGA, L. A. F.; BRAGA JUNIOR, G. F. Proposta de automação para o controle de temperatura e umidade em uma estufa de secagem de madeira. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 56 - 67, 2021.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras**. [S.l.]: ANPM; ESALQ/USP; XYLEMA, 2013. 36p.

OLIVEIRA, S.; OLIVEIRA, L. V. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Redução de custos de transporte de madeiras tropicais comercializadas em Rondônia por meio da secagem. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 23 - 36, 2024.

SANTOS, G. R. V. Schedules drying based score defects for tropical species. **Advances in Forestry Science**, v. 12, n. 1 p. 2328 - 2338, 2025.

SOUZA, L. F.; KEINE, S.; WISBECK, E.; SOUZA, O. Estudo experimental da secagem de tábuas de Pinus taeda: efeito das variáveis do processo sobre a velocidade de secagem e defeitos gerados no material desidratado. In: Desvendando a engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade - Volume 2. **Editora Científica Digital**, 2021. p. 246-267.

SUSIN, F.; SANTINI, E. J; STANGERLIN, D. M.; MORAIS, W. W. C.; MELO, R. R. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 243 - 250, 2014.

WILLEMS, W.; ALTGEN, M. Hygrothermolytic wood modification. process description and treatment level characterization. **Wood Material Science & Engineering**, v. 15, p. 213 - 222, 2020.

EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* NA PRODUÇÃO DE CELULOSE

Vinícius Cury Berni¹; Wesley Munhoz Ribeiro¹; Laíse Vergara Nörnberg²; Nathalia Farias Gomes³; Osmarino Pires dos Santos^{3*}; Vanessa Vieira Trindade de Oliveira³; Franco Freitas Quevedo³; Gabriel Valim Cardoso¹

¹Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas, Brasil; ²Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Brasil; ³Laboratório de Qualidade da Madeira, Mensura Florestal, Brasil; ⁴Pesquisa e Desenvolvimento, CMPC Celulose Riograndense, Brasil

*Autor correspondente: osmarino.santos@cmpc.com

Resumo: Pré-tratamentos da madeira são aplicados para remover constituintes antes do processo de deslignificação kraft. No geral utilizam água para tratar a madeira sob condições de temperatura e tempo, o que leva a reações de hidrólise e solubilização de constituintes da madeira como hemiceluloses e extrativos. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito do pré-tratamento hidrotérmico nos resultados da deslignificação kraft de madeiras de *Eucalyptus benthamii*. Foram selecionadas e abatidas 15 árvores de *Eucalyptus benthamii* com 8 anos de idade que tiveram seus toretes transformados em cavacos e agrupadas em 3 grupos de 5 árvores com as mesmas características, sendo eles, cavacos de madeira somente com kino aparente, cavacos de madeira sem classificação de kino (amostra contendo cavacos com kino e sem) e cavacos de madeira sem kino (separação realizada manualmente, removendo cavacos com kino da amostra sem classificação). O pré-tratamento hidrotérmico foi aplicado nos cavacos com kino e sem classificação utilizando água, tempo de 45 minutos e temperatura máxima de 130°C. O pré-tratamento hidrotérmico proporcionou uma remoção de massa 50% maior nos cavacos com kino em relação a amostra de cavacos sem classificação de remoção de kino. As amostras submetidas ao processo de pré-tratamento hidrotérmico apresentaram aumento significativo no rendimento depurado do processo kraft, tendo a amostra sem classificação apresentado aumento de 1,4% no rendimento depurado em relação a mesma amostra sem pré-tratamento, além de reduzir pela metade os rejeitos. O estudo evidenciou o efeito positivo do pré-tratamento hidrotérmico sobre os resultados de deslignificação kraft da madeira de *Eucalyptus benthamii*.

Palavras chave: Rendimento da polpação; Pré-hidrólise; Extrativos; Kino.

EFFECT OF HYDROTHERMAL PRETREATMENT OF *Eucalyptus benthamii* WOOD ON PULP PRODUCTION

Abstract: Wood pretreatment processes are applied to remove constituents before the kraft delignification process. They generally use water to treat the wood under conditions of temperature and time, which leads to hydrolysis reactions and solubilization of wood constituents such as hemicelluloses and extractives. The aim of this study was to evaluate the effect of hydrothermal pretreatment on the results of kraft delignification of *Eucalyptus benthamii* wood. Fifteen 8-year-old *Eucalyptus benthamii* trees were selected and felled. Their logs were transformed into chips and grouped into 3 groups of 5 trees with the same characteristics: wood chips with only apparent kino, wood chips without kino classification (sample containing chips with and without kino) and wood chips without kino (separation carried out manually, removing chips with kino from the sample without classification). The hydrothermal pre-treatment was applied to the chips with kino and without grading using water, a time of 45 minutes and a maximum temperature of 130°C. The hydrothermal pre-treatment resulted in 50% greater mass removal in the kino chips compared to the chip sample without kino removal classification. The samples submitted to the hydrothermal pre-

treatment process showed a significant increase in the purified yield of the kraft process, with the sample without classification showing an increase of 1.4% in the purified yield in relation to the same sample without pre-treatment, in addition to halving the rejects. The study showed the positive effect of hydrothermal pre-treatment on the results of kraft delignification of *Eucalyptus benthamii* wood.

Keywords: Pulping yield; Pre-hydrolysis; Extractives; Kino.

1. INTRODUÇÃO

A economia do setor florestal tem se intensificado anualmente no Brasil. Em 2023, a área total de florestas plantadas no país ultrapassou os 10 milhões de hectares, representando um crescimento de 3% em relação ao ano anterior. Dentre essa área, 76% corresponde a plantações do gênero *Eucalyptus*, totalizando 7,8 milhões de hectares, conforme descrito no Relatório Anual de 2024 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024).

Ainda segundo a IBÁ (2024), o gênero *Eucalyptus* é destinado majoritariamente à produção de celulose e papel, com exportações que superaram 10 bilhões de dólares em 2023. Entre as espécies mais utilizadas nesse setor, destaca-se o *Eucalyptus benthamii*, amplamente cultivado por seu excelente desempenho silvicultural, aliando bom crescimento, resistência ao frio e tolerância a geadas.

Para o setor de celulose, Alves *et al.* (2011) constatou que a madeira do *Eucalyptus benthamii* pode apresentar maior teores de extrativos, e de acordo com Moraes *et al.* (2017) esses compostos podem, em determinadas espécies, atingir concentrações elevadas a ponto de gerar exsudações. Quando essas exsudações apresentam uma proporção maior de polifenóis em relação aos carboidratos, são denominadas “kino” (NISGOSKI, 2016).

De acordo com Medeiros (2023), as bolsas de kino geralmente se formam de maneira anelar no tronco e estão associadas a estresses sofridos pelas árvores durante o desenvolvimento. Essas bolsas podem evoluir para fendas que, ao entrarem em contato com o ar, oxidam-se e se solidificam. A presença de kino pode impactar negativamente o processo de polpação, afetando o rendimento, a qualidade da polpa e favorecendo a formação de incrustações em equipamentos industriais.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento de amostras de madeira com e sem kino submetidas ao pré-tratamento hidrotérmico, visando avaliar seus efeitos no processo de produção de celulose.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo foram obtidos a partir de um plantio pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense, localizado no estado do Rio Grande do Sul. Foram avaliadas 15 árvores de *Eucalyptus benthamii* com 8 anos de idade.

De cada árvore foram coletados 5 toretes correspondentes às posições de 0, DAP, 33, 66 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 5 cm). Os toretes (Figura 1.A) foram identificados, descascados manualmente e transformados em cavacos utilizando picador de discos.

Figura 1: Presença de kino aparente na madeira de *Eucalyptus benthamii*: (A) Toretos; (B) Cavacos.

A

B



Os cavacos de madeira foram organizados em três grupos experimentais, compostos por cinco árvores cada, selecionadas com base em características semelhantes. Os grupos foram definidos da seguinte forma: (SK) apenas cavacos isentos de kino, obtidos por separação manual da amostra sem classificação, mediante a remoção de todos os cavacos que apresentavam sinais visuais de kino; (SC) amostra sem classificação, composta por cavacos com e sem kino, seguindo o padrão natural das árvores; e (CK) apenas cavacos com presença aparente de kino, identificada visualmente como demonstrado na Figura 1.B.

O pré-tratamento hidrotérmico (PTH) foi aplicado na amostra de cavacos constituídas apenas por madeiras com presença de kino (CK) e na amostra de cavacos sem classificação de kino (SC), utilizando água, tempo de 45 minutos e temperatura máxima de 130°C. Foi utilizado 100g de cavacos, sendo depositados na célula do digestor laboratorial, com uma relação de água e madeira de 4:1. Após o período de 45 minutos, os cavacos foram lavados e reservados para serem deslignificados pelo processo kraft. O líquido do processo de pré-tratamento hidrotérmico foi coletado e concentrado em chapa aquecedora e posteriormente levado à estufa a 105 ± 3 °C até peso constante para quantificação de massa seca removida de constituintes químicos da madeira e cálculo do percentual em relação a massa de cavacos tratados.

A deslignificação kraft dos cinco tratamentos (Tabela 1) foi conduzida no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Pelotas, utilizando um digestor convencional com capacidade de processar quatro amostras simultaneamente. As condições utilizadas foram álcali ativo de 22%, sulfidez de 30%, temperatura máxima de 158°C e tempo de 3 horas.

Tabela 1: Definição de tratamentos conforme classificação e pré-tratamento aplicados às amostras de cavacos.

Tratamento	Classificação	Pré-tratamento
SK	Isento de kino	-
SC	Sem classificação	-
CK	Exclusivamente com kino	-
SC+PTH	Sem classificação	Contendo pré-tratamento hidrotérmico
CK+PTH	Exclusivamente com kino	Contendo pré-tratamento hidrotérmico

As polpas celulósicas foram retiradas das células de cozimento e lavadas em uma caixa de lavagem equipada com tela com abertura de 100 mesh, com o objetivo de remover o licor negro residual. Em seguida, as fibras foram individualizadas em um desagregador laboratorial durante 20 mil revoluções e depuradas para separação dos rejeitos. Posteriormente, calcularam-se por gravimetria os rendimentos total e depurado, teor de rejeitos e analisado pela norma TAPPI T 236 (2006) o número kappa das polpas obtidas.

Os resultados dos parâmetros estudados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se o percentual médio de massa removida dos cavacos submetidos ao pré-tratamento hidrotérmico. Os dados evidenciam que o grupo composto exclusivamente por cavacos com kino (CK) apresentou uma remoção de massa significativamente superior em comparação à amostra sem classificação (SC), representando um incremento de 50%. Esse comportamento pode estar relacionado à maior concentração de compostos fenólicos e extrativos presentes nas regiões com kino, os quais são mais suscetíveis à extração em condições hidrotérmicas, indicando que o pré-tratamento foi eficiente na remoção destes componentes químicos.

Tabela 2: Massa média removida dos cavacos pelo pré-tratamento hidrotérmico.

Amostra	Massa removida (%)
Sem classificação (SC)	4,7 a
Exclusivamente com kino (CK)	9,4 b
Diferença	4,7

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

O rendimento do processo kraft e o número kappa das polpas obtidas são demonstrados na Tabela 3. Baldin (2018), ao cozinhar madeira de *Eucalyptus benthamii* com 4 anos de idade, obteve rendimento total de 49,1% e número kappa de 19, utilizando 18,1% de álcali ativo. No presente estudo, a amostra sem classificação (SC) apresentou rendimento de 50,3% e número kappa de 22,6, com 22% de álcali ativo, essa diferença pode ser atribuída às diferenças de idade das madeiras estudadas.

Tabela 3: Resultados médios das polpas obtidas do processo de deslignificação kraft

Tratamento	Rendimento depurado (%)	Teor de Rejeitos (%)	Rendimento Total (%)	Número Kappa
(SK)	50,7 a	0,1 a	50,8 a	19,6 a
(SC)	48,9 a	1,4 b	50,3 a	22,6 b
(CK)	45,5 b	3,4 c	48,9 b	28,8 c
(SC+PTH)	50,3 a	0,7 a	51,0 a	13,9 d
(CK+PTH)	46,8 b	1,9 b	48,7 b	15,7 e

Em que: SK = Amostra isenta de kino; SC = Amostra sem classificação; CK = Amostra exclusivamente com kino; PTH = Presença de pré-tratamento hidrotérmico. Em que médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Visualiza-se que a presença de kino na madeira de *Eucalyptus benthamii* impactou negativamente o desempenho do processo de deslignificação kraft. As amostras isentas de kino (SK) apresentaram rendimento depurado 5,2% superior e número kappa 9,2 unidades inferior em comparação às amostras de cavacos exclusivamente com kino (CK). A amostra sem classificação (SC), representativa da distribuição natural de kino, mostrou rendimento semelhante à amostra sem kino (SK), mas com número kappa significativamente mais elevado, evidenciando o efeito da presença do kino residual na polpa.

A aplicação do pré-tratamento hidrotérmico (PTH) promoveu melhorias importantes nas amostras com e sem classificação. A amostra sem classificação submetida ao pré-tratamento (SC+PTH) apresentou aumento de 1,4% no rendimento depurado em relação à SC, redução de 50% nos rejeitos e o menor número kappa entre todos os tratamentos, indicando maior eficiência na remoção da lignina. Embora o PTH aplicado na amostra de cavacos exclusivamente com kino (CK) não tenha promovido ganhos em rendimento, proporcionou redução expressiva no número kappa, de 28,8 (CK) para 15,7 (CK+PTH), o que evidencia o potencial do pré-tratamento hidrotérmico em mitigar os efeitos negativos associados à presença de kino.

4. CONCLUSÃO

O pré-tratamento hidrotérmico resultou em uma remoção de massa 50% superior nos cavacos compostos exclusivamente por kino, em comparação à amostra sem classificação, sugerindo maior presença de constituintes hidrossolúveis nas regiões com exsudação.

Esse efeito contribuiu positivamente para o desempenho do processo kraft., onde a amostra sem classificação, quando submetida ao pré-tratamento, apresentou aumento de 1,4% no rendimento depurado, redução de 50% nos rejeitos e menor número kappa, evidenciando maior eficiência na remoção da lignina. Embora o pré-tratamento não tenha promovido aumento de rendimento nas amostras exclusivamente com kino, houve significativa redução do número kappa, o que demonstra seu potencial na melhoria da qualidade da polpa.

Assim, o estudo confirma que o pré-tratamento hidrotérmico exerce efeito positivo sobre a deslignificação kraft da madeira de *Eucalyptus benthamii*, especialmente em materiais com presença de kino.

REFERÊNCIAS

- ALVES, I. C. N., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., & SILVA, H. D. D. (2011). Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, 21(1), 167-174.
- BALDIN, T. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage por espectroscopia no infravermelho próximo, com vistas à produção de celulose**. 2028. 78f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2018.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2024**. 2024. 99f.
- MEDEIROS, L. E. **Avaliação dos diferentes tipos de defeitos que ocorrem na madeira**. 2023. 75f. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2023.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2008.

NISGOSKI, S. Anatomia da Madeira: Anatomia parte 2. Apostila Anatomia, UFPR, p. 63-123, 2016. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/APOSTILA-ANATOMIA-2P-2016.pdf>. Acesso em: 2 mar 2025.

MANCHA QUÍMICA EM MADEIRA DE TECA APÓS SECAGEM ARTIFICIAL

Juliana Cristinny Carbonato Candido Herane¹; Bárbara Luísa Corradi Pereira²; Franciele dos Santos Correia¹; Aylson Costa Oliveira².

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

² Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

*Juliana Cristinny Carbonato Candido Herane (e-mail): jcarbonatoherane@gmail.com

Resumo: A formação de manchas químicas em madeira de teca pode comprometer a qualidade estética e comercial do produto final, o que torna este estudo relevante para a indústria madeireira. O objetivo foi avaliar os teores de extrativos e as alterações colorimétricas na madeira de teca após a secagem artificial em estufa. O estudo utilizou madeira de teca com e sem manchas visíveis, todas submetidas à secagem em estufa. As amostras foram analisadas quanto aos teores de extrativos totais, e os parâmetros colorimétricos CIELAB (L^* , a^* e b^*) foram devidamente avaliados. Os resultados mostraram que as amostras com manchas apresentaram maiores concentrações de extrativos, como taninos e açúcares, além de menor luminosidade ($L^* = 39,06$) e intensidades reduzidas nas cores vermelha e amarela ($a^* = 7,99$ e $b^* = 13,60$), confirmando o escurecimento observado. Conclui-se que a secagem influencia diretamente na coloração da madeira, sendo essencial controlar o processo a fim de evitar manchas e garantir melhor qualidade visual.

Palavras chave: Extrativos; Estufa de secagem; Cor; *Tectona grandis*.

CHEMICAL STAIN IN TEAK WOOD AFTER ARTIFICIAL DRYING

Abstract: The formation of chemical stains in teak wood can compromise the aesthetic and commercial quality of the final product, which makes this study relevant for the wood industry. The objective was to evaluate the extractive contents and colorimetric changes in teak wood after artificial drying in an oven. The study used teak wood with and without visible stains, all subjected to oven drying. The samples were analyzed for total extractive contents, and the colorimetric parameters CIELAB (L^* , a^* , and b^*) were carefully evaluated. The results showed that the stained samples presented higher concentrations of extractives, such as tannins and sugars, along with lower luminosity ($L^* = 39.06$) and reduced intensities in the red and yellow colors ($a^* = 7.99$ and $b^* = 13.60$), confirming the observed darkening. It is concluded that drying directly influences the wood's coloration, making it essential to control the process in order to prevent stains and ensure better visual quality.

Keywords: Extractives; Drying oven; Color; *Tectona grandis*.

1. INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L. f.) é valorizada por sua durabilidade, resistência e acabamento, sendo amplamente empregada em carpintaria, marcenaria, móveis de alto padrão e construção naval, pela resistência à umidade e a agentes biológicos (TSUKAMOTO FILHO, 2003). No Brasil, é uma das principais espécies plantadas, junto ao Eucalipto e ao Pinus (IBÁ, 2024), com destaque para o estado de Mato Grosso, responsável por 72% da área cultivada (AREFLORESTA, 2022). Em 2023,

a madeira de teca atingiu valor médio de US\$ 162/m³, o que impulsionou sua produção (CAMPOS, 2023).

A secagem da madeira é etapa essencial no processamento, pois melhora a durabilidade, resistência e valor comercial do produto (MELLO et al., 2002). Visa à redução da umidade, tornando a madeira mais leve, estável e resistente a fungos e insetos. No entanto, pode causar defeitos como manchas marrons, associadas a extrativos solúveis como taninos e açúcares. Em altas temperaturas e com umidade, esses compostos migram para a superfície, escurecendo a madeira (MELLO et al., 2002; CAMPOS, 2023). A remoção dessas manchas pode levar à perda de até 40% do volume da peça (PEREIRA et al., 1993a).

Esse problema tem se tornado mais comum, favorecido por fatores como o intervalo entre corte, desdobro e secagem; temperatura e umidade do processo; espessura e pH da madeira. Quando a secagem ocorre com teor de umidade acima de 40% e temperatura elevada, o risco aumenta (MELLO et al., 2002).

Recomenda-se, para controle da mancha marrom, reduzir o intervalo entre as etapas iniciais e adotar programas de secagem em dois estágios: temperatura moderada (~50°C) com umidade acima de 30%, seguida de aquecimento até atingir o teor final (PEREIRA et al., 1993a; PEREIRA, 1992). Tratamentos químicos com soluções alcalinas de borato de sódio (3%) ou carbonato de sódio (5%) também são eficazes, pois inibem a atividade enzimática e melhoram a estética (PEREIRA et al., 1993b).

Diante disso, controlar a secagem é fundamental para manter a qualidade estética e mecânica da madeira, reduzindo perdas e valorizando o produto. Este trabalho teve como objetivo determinar o teor de extrativos e os parâmetros colorimétricos CIELab* da madeira de teca com e sem manchas visíveis após secagem em estufa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi utilizada a madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.). A amostra consistiu em 8 corpos de prova, com dimensões de 26,5 cm de comprimento e 4 cm de altura, fornecidos pela empresa Soroteca, localizada em São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso. Esses corpos de prova foram divididos em dois grupos: 4 com manchas visíveis (M1, M2, M3, M4) e 4 sem manchas (N1, N2, N3, N4), permitindo uma análise comparativa, como ilustrado na Figura 1A e 1B.

Inicialmente, realizou-se o processamento das amostras, com o lixamento dos corpos de prova, visando a remoção de imperfeições superficiais e a exposição das manchas naturais da madeira. Para isso, utilizou-se uma **lixadeira orbital manual** e lixas sequenciais de grão **100, 120 e 180**, para garantir um acabamento adequado e uma melhor visibilidade das características da madeira. Este procedimento foi essencial para aumentar a visibilidade das manchas naturais da madeira, conforme ilustrado nas Figuras 1A e 1B.

Após o lixamento, cada corpo de prova foi perfurado (Figura 1C e 1D) com broca para produzir maravalha. Posteriormente, a maravalha foi processada em moinho Willey (Marconi, modelo MA 304). O material foi classificado em peneiras de 40 e 60 mesh, respectivamente, com o material que ficou na peneira de malha 60 mesh, destinado à determinação a determinação de extrativos (Figura 1E e 1F).

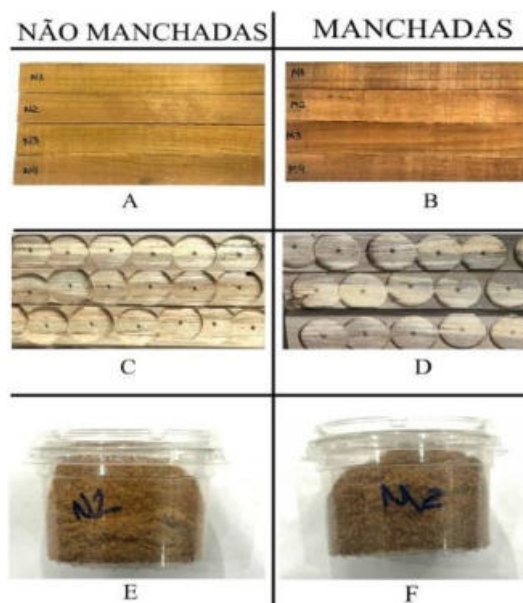


Figura 1 - Etapas do processamento inicial das amostras: A/B: Madeira lixada; C/D madeira perfurada; E/F: amostra madeira moída e peneirada.

A determinação dos teores de extrativos totais seguiram as metodologias estabelecidas pelas normas técnicas ASTM D1105-96 (2013), ASTM D1107-96 (2013) e ASTM D1110-84 (2013). O procedimento consiste em realizar a extração nas amostras de madeira utilizando um extrator Soxhlet, utilizando os solventes etanol-tolueno (2:1) e etanol, e em seguida, realizar uma extração em banho-maria utilizando água quente como solvente. O uso do etanol e tolueno permite a extração de ceras, gorduras, algumas resinas e porções de gomas presentes na madeira (ASTM D1105-96, 2013). Por outro lado, a água quente é capaz de extrair taninos, açúcares, amidos e materiais coloridos (ASTM D1105-96, 2013).

Para a análise da cor da madeira, foi utilizado um espectrofotômetro portátil marca HOMUS que mede os parâmetros principais, com base no sistema CIELab* (Comission Internationale de L'Eclairage), amplamente reconhecido por sua precisão na definição de cores. Os parâmetros avaliados foram: L*: Indica a luminosidade da cor, variando de 0 (preto) a 100 (branco); a*: Refere-se à intensidade da cor verde (-a*) ou vermelha (+a*); b*: Refere-se à intensidade da cor azul (-b*) ou amarela (+b*).

Esses parâmetros permitem uma caracterização detalhada das propriedades de cor da madeira. As medições foram realizadas na serragem moída das amostras de madeira, possibilitando uma avaliação mais precisa das variações colorimétricas. Esse procedimento proporcionou uma análise objetiva das variações nas propriedades de cor da madeira, garantindo maior consistência nos resultados, com base em um sistema internacionalmente padronizado para avaliação de cores.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: manchada e não manchada e quatro repetições, totalizando 8 amostras. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a influência ocorrência de mancha sobre as variáveis estudadas. Quando identificadas diferenças estatisticamente significativas, aplicou-se o teste de T e F ($\alpha = 5\%$) para comparação entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada no software RStudio versão 4.2.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os teores médios de extrativos nas amostras de madeira de teca, tanto amostras com manchas quanto nas sem manchas, acompanhados dos respectivos desvios padrão, não havendo diferença estatística significativa.

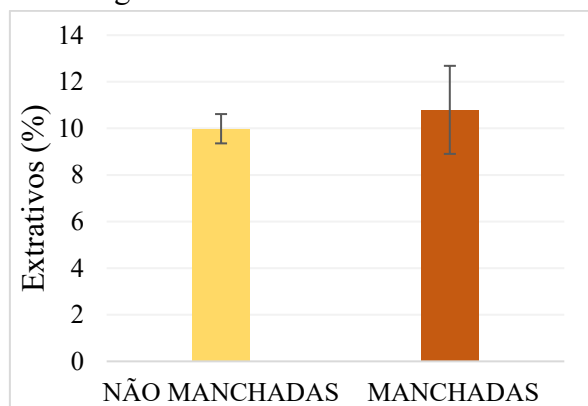


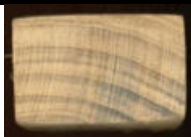
Figura 2. Teores médios de extrativos nas amostras de madeira de teca manchadas e não manchadas

Mesmo não havendo diferença estatística entre os tratamentos, verifica-se em relação aos teores de extrativos, a madeira não manchada teve teor de extrativo médio igual a 9,98, enquanto que nas madeiras manchadas esse o teor médio foi igual a 10,79. Logo, as madeiras manchadas tiveram teor de extrativo ligeiramente maior que as não manchadas. Esse aumento nos extrativos pode ser atribuído ao processo de solubilização de compostos presentes na madeira, como taninos, açúcares e outros extrativos solúveis em água, durante a secagem em estufa. Esses compostos solúveis, quando expostos a altas temperaturas, têm maior propensão a se mover para a superfície da madeira, o que pode explicar a formação das manchas visíveis nas amostras. A solubilização dos extrativos, como os taninos e açúcares, é um fenômeno conhecido que ocorre quando a madeira é submetida a processos térmicos, especialmente quando a secagem é realizada em altas temperaturas. A presença desses compostos, em concentrações mais altas, pode ter um impacto direto na formação das manchas de cor, um fenômeno observado com frequência em madeiras que não são tratadas ou secas adequadamente (MOHR,2010).

O resultado da Figura 2 revelam que as amostras de madeira de teca com manchas visíveis contêm quantidades mais altas de extrativos e maior variação, evidenciando a solubilização de compostos durante a secagem, que contribui para a formação das manchas químicas na superfície da madeira.

Houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos manchados e não manchados para todos os parâmetros colorimétricos analisados (tabela1).

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros colorimétricos, seus respectivos desvios padrão (..), e imagem das madeiras manchadas e não manchadas.

Amostras	L	a	b	Imagem
Não manchadas	46,23* (2,95)	11,15* (1,17)	16,92* (1,26)	

Manchadas	39,06 ^(2,88)	7,99 ^(0,25)	13,60 ^(0,84)



*- indica diferença estatística na coluna pelo teste.

Em relação aos parâmetros colorimétricos (Tabela 1), a análise revelou diferenças significativas entre as amostras com e sem manchas. As amostras com manchas apresentaram menores valores de *a*, indicando uma menor intensidade de cor vermelha; e do parâmetro *b*, indicando uma menor intensidade de cor amarela. Quanto a luminosidade (*L*) a madeira de teca manchada teve valor mais baixo, indicando maior escurecimento, indicando consonância com o escurecimento observado nas superfícies da madeira, conforme imagens da Tabela 1. Esses resultados sugerem que os compostos extraídos durante o processo de secagem, como taninos, podem influenciar diretamente a coloração da madeira, proporcionando um aspecto mais opaco, com uma tonalidade menos vívida e mais escura.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na análise dos teores de extrativos e dos parâmetros colorimétricos da madeira de teca, com e sem manchas visíveis, após a secagem em estufa, forneceram informações importantes sobre as alterações nas propriedades da madeira decorrente do processo de secagem.

As amostras com manchas apresentaram maiores teores de extrativos e valores mais baixos nos parâmetros *a** (intensidade da cor vermelha) e *b** (intensidade da cor amarela), além de uma menor luminosidade (*L*), confirmando o escurecimento e a tonalidade opaca nas superfícies.

5. AGRADECIMENTOS

À empresa Soroteca. À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e ao Laboratório de Tecnologia da Madeira. Ao Programa de Educação Tutorial – PET FLORESTAL.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO DE REFLORESTADORES DE MATO GROSSO (Arefloresta). (2022). **Mapeamento da Produção Silvicultural em Mato Grosso**. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea).
- CAMPOS, Camila Mendes. **Caracterização química e colorimétrica da madeira de teca de árvores de 13 e 22 anos**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá, 2023.
- COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SILVA, M. L. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 487-494, 2003.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2024**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- MELLO, Fernandes Barreto; CAVALCANTI, Humberto Candeias; ALVES, Marcus Vinicius da Silva. **Secagem da Madeira**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais - LPF, 2002.

MOHR, Jailson. **Secagem da madeira em estufa**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial da Madeira) – Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV, União da Vitória, 2010.

PEREIRA, José Carlos Duarte. **Formação e Controle da Mancha Marrom em Madeira Serrada de *Pinus elliottii* Engelm var. *h.*** 1992. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 1992.

PEREIRA, José Carlos Duarte; TOMASELLI, Ivan; CORRÊA, João Batista Chaves. Controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* através da imersão em soluções alcalinas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 26/27, p. 41-47, jan./dez. 1993b.

PEREIRA, José Carlos Duarte; TOMASELLI, Ivan; CORRÊA, João Batista Chaves. Ocorrência da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 26/27, p. 41-47, jan./dez. 1993a.

USO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) NA SELEÇÃO DE MADEIRAS PARA USO ENERGÉTICO

Caio Cesar Nemer Martins^{1*}; Vinícius Resende de Castro¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Letícia Costa Peres¹; Paulo Ricardo Gherardi Hein²

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

*Autor correspondente (e-mail): caio.martins@ufv.com.br

Resumo: Este estudo teve como objetivo utilizar a análise de componentes principais (PCA) na seleção de madeiras de clones *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. Duas árvores de 15 clones comerciais (11 clones de *Eucalyptus* e 4 de *Corymbia*) com 84 meses de idade foram utilizadas. As amostras foram caracterizadas laboratorialmente de acordo com as normas e metodologias vigentes e, logo após, a PCA foi utilizada visando selecionar os clones superiores para uso energético. A PCA possibilitou o agrupamento de clones com características químicas semelhantes. Nesse sentido, foi possível selecionar os materiais genéticos de acordo com as características desejáveis. A PCA apontou que as madeiras dos clones 1, 3 e 4 (grupo 1) e 2 (grupo 4) são as mais promissoras para a produção de carvão vegetal, de modo que os clones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 e 15 (grupo 2) apresentaram resultados considerados aceitáveis para a produção de carvão vegetal. Além disso, verificou-se que os materiais genéticos similares agrupados pela PCA podem ser carbonizados conjuntamente, facilitando o planejamento da unidade de produção de carvão vegetal. Assim, concluiu-se que a PCA foi uma importante ferramenta na seleção de madeiras para uso energético.

Palavras chave: Biomassa florestal; *Corymbia*; *Eucalyptus*; Holoceluloses; Melhoramento genético.

USE OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) IN THE SELECTION OF WOOD FOR ENERGY USE

Abstract: This study aimed to use principal component analysis (PCA) in the selection of wood from *Eucalyptus* and *Corymbia* clones for energy use. Two trees from 15 commercial clones (11 *Eucalyptus* clones and 4 *Corymbia* clones) aged 84 months were used. The samples were characterized in the laboratory according to current standards and methodologies, and then PCA was applied to select the superior clones for energy use. PCA enabled the grouping of clones with similar chemical characteristics. In this regard, it was possible to select genetic materials based on desirable characteristics. PCA indicated that the wood from clones 1, 3, and 4 (group 1) and clone 2 (group 4) are the most promising for charcoal production, while clones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, and 15 (group 2) showed results considered acceptable for charcoal production. Additionally, it was found that genetically similar materials grouped by PCA can be carbonized together, facilitating the planning of the charcoal production unit. Thus, it was concluded that PCA was an important tool in the selection of wood for energy use.

Keywords: Forest biomass; *Corymbia*; *Eucalyptus*; Holocellulose; Genetic improvement.

1. INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de florestas plantadas tem avançado nos últimos anos em função da expansão das áreas de cultivo, associado ao desenvolvimento de técnicas silviculturais e de melhoramento genético de diversos genótipos, principalmente do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia* (SILVA *et al.*, 2022). Este aumento na produtividade florestal está associado à composição da matriz energética brasileira, uma vez que 45.2% deste total são provindas de fontes renováveis, representando aproximadamente 130 milhões de toneladas de óleo equivalente. Destaca-se ainda que o carvão vegetal e os materiais lenhosos correspondem a 8.4% da energia total gerada no país (DE PAULA PROTÁSIO *et al.*, 2021).

De acordo com o relatório do Ibá (2024), o país atingiu 10,2 milhões de hectares destinados para cultivos industriais em 2023. Deste total, aproximadamente 7,8 milhões de hectares são de áreas cultivadas com o gênero *Eucalyptus* por ser consolidado no mercado florestal (IBÁ, 2024). Atrelado à essa expansão, o gênero *Corymbia* tem adquirido destaque como possível opção de mercado devido à características como alta densidade, com indivíduos alcançando densidade básica da madeira acima de 600 kg/m³ aos sete anos de idade (LOUREIRO *et al.*, 2019), tolerância a condições climáticas adversas (NAHRUNG *et al.*, 2011) e resistência ao adensamento dos plantios (MONTEIRO *et al.*, 2020).

Com o objetivo de selecionar madeiras com maior potencial para o uso na indústria carvoeira, a análise de componentes principais (PCA) apresenta-se como uma ferramenta promissora. O princípio da técnica se baseia na redimensionalidade dos dados, sendo capaz de transformar variáveis complexas em informações de fácil entendimento (KURITA, 2021). Outro aspecto que merece destaque é que essa técnica permite verificar a similaridade entre os dados analisados, o que possibilita o agrupamento de materiais genéticos com características semelhantes. Assim, o objetivo deste estudo foi utilizar a PCA na seleção de madeiras de clones *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Quinze clones comerciais do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*, de idade de 84 meses, espaçamento de plantio 3 x 3 metros, com seleção de duas árvores de diâmetro médio por tratamento, provenientes de plantios situados na cidade de Itamarandiba, no estado de Minas Gerais (latitude 17° 44' 45" S; longitude 42° 45' 11" W e altitude 1.000 metros), totalizando 30 unidades amostrais, foram utilizados.

Para a caracterização das propriedades químicas e física das madeiras, as análises realizadas foram relação S/G, cristalinidade da celulose, holoceluloses, lignina total, extrativos e densidade básica, de acordo com as normas e metodologias citadas na Tabela 1.

Tabela 1: Normas e referências utilizadas como metodologias para análise das propriedades químicas e física da madeira de clones de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Propriedades	Metodologia
Relação S/G	LIN e DENCE (1992)
Cristalinidade da celulose (%)	SEGAL <i>et al.</i> (1959)
Holoceluloses (%)	100 menos o somatório dos teores de lignina total, extrativos e cinzas
Lignina total (%)	Somatório da lignina solúvel (TAPPI UM250) e insolúvel (TAPPI T 222 om-02)
Extrativos (%)	TAPPI 204 om-88

Densidade básica (kg/m³)

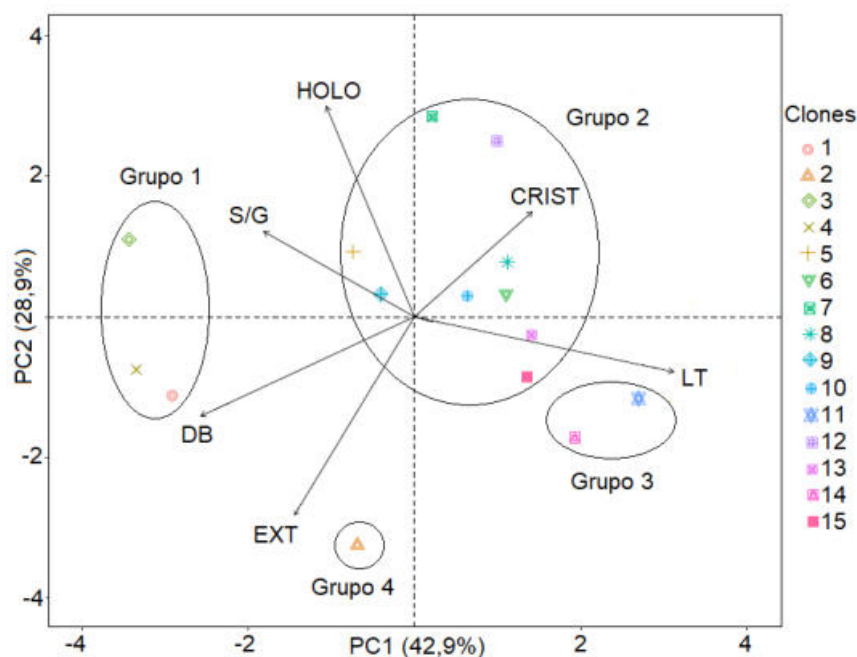
ABNT NBR 11941

Por fim, os clones foram agrupados por análise de componentes principais (PCA), especificamente por análise de dispersão de escores. As variáveis com maiores contribuições para os componentes principais (PC) foram identificadas com base nos autovetores. Para essa análise, foi utilizado o *software* R (versão 3.4.3).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas componentes principais da Figura 1 apresentaram os maiores autovalores, descrevendo aproximadamente 72% da variância total acumulada dos dados. Deste modo, as principais informações dos dados amostrais originais estão contidas na PC1 e PC2. Os elevados coeficientes da componente principal 1 são relativos ao teor de lignina insolúvel, lignina total, relação S/G e densidade básica da madeira. Para a componente principal 2, o teor de extrativos, o teor de holoceluloses e a cristalinidade da celulose foram as variáveis originais que mais influenciaram na composição dos grupos. Observou-se a formação de quatro grupos de acordo com os escores das componentes principais consideradas. O primeiro grupo foi formado pelos clones 1, 3 e 4; o segundo grupo pelos clones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 e 15, o terceiro grupo pelos clones 11 e 14 e o quarto grupo formado pelo clone 2.

Figura 1: Diagrama de ordenação das variáveis originais e escores das duas componentes principais.



*S/G = Relação Siringila/Guaiacila (S/G); HOLO = Holoceluloses; CRIST = Cristalinidade da celulose; LT = Lignina Total; EXT = Extrativos; DB = Densidade Básica.

Os grupos formados podem ser caracterizados pelos valores médios de todos os clones membros de cada propriedade (Tabela 2). Deste modo, o grupo 1, composto pelos clones 1, 3 e

4, apresentou a segunda maior média de densidade básica da madeira e teor de extrativos, além de resultados aceitáveis para fins energéticos para o teor de holoceluloses e lignina total, relação S/G e cristalinidade da celulose. Sendo assim, os clones deste grupo apresentaram características vantajosas para a bioenergia.

Tabela 2: Valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas para cada grupo formado pela PCA.

Variáveis	Grupos formados pela PCA			
	1	2	3	4
Relação S/G	3,06 ± 0,01	2,65 ± 0,01	2,66 ± 0,01	2,42 ± 0,01
Cristalinidade da celulose (%)	67,39 ± 0,63	74,31 ± 2,18	72,19 ± 1,45	69,19 ± 1,00
Holoceluloses (%)	66,05 ± 0,97	66,08 ± 0,62	63,79 ± 0,87	61,51 ± 0,34
Lignina total (%)	26,47 ± 0,43	29,56 ± 0,40	31,56 ± 0,32	29,70 ± 0,35
Extrativos (%)	7,47 ± 0,60	4,63 ± 0,36	5,01 ± 0,29	8,79 ± 0,46
Densidade básica (kg/m ³)	607,0 ± 0,0	509,7 ± 18,0	486,0 ± 0,05	631,0 ± 10,0

Os clones do Grupo 2 (5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 e 15) apresentaram valores satisfatórios para a densidade básica, teor de lignina total, cristalinidade da celulose e relação S/G, conforme pode ser visto na Tabela 3. O grupo 3 (clones 11 e 14) apresentou a menor densidade básica, com valor médio de densidade básica abaixo do recomendado para a produção de carvão vegetal (< 500,0 kg/m³) e o segundo maior valor médio da relação S/G. No entanto, este grupo apresentou o maior valor para o teor de lignina total e cristalinidade da celulose, sendo características desejáveis para a bioenergia (LIMA *et al.*, 2020). Deste modo, uma alternativa para utilizar os clones do grupo 3 para produção energética, seria submeter a madeira desses clones à uma menor temperatura final de carbonização, com o objetivo de reduzir a degradação térmica dos componentes da parede celular e, consequentemente, elevar a quantidade de energia disponível na forma de calor.

O grupo 4, formado pelo clone 2, foi o que mais divergiu dos demais devido aos elevados valores para densidade básica, teor de extrativos, a segunda maior média para o teor de lignina total, além dos menores valores para a relação S/G e o teor de holoceluloses, sendo o mais recomendado para a bioenergia. Em geral, os grupos 1 e 4 são os mais promissores para combustão e carbonização. O grupo 2 apresentaram valores aceitáveis para fins energéticos e o grupo 3 não seria recomendado para este fim caso fosse submetido aos mesmos parâmetros de carbonização dos demais grupos.

Portanto, a análise de componentes principais foi eficiente para demonstrar os principais fatores que influenciam a composição química e física da madeira de clones de *Eucalyptus* e *Corymbia*. Além disso, foi possível o agrupamento de clones com composição química similares, o que facilita o processo de seleção dos materiais genéticos de acordo com as exigências do mercado florestal. Outro aspecto importante é que os materiais genéticos similares verificados pela PCA podem ser carbonizados conjuntamente, facilitando o planejamento da unidade de produção de carvão vegetal, conforme realizado no estudo de Abreu Neto *et al.* (2021) para clones de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia citriodora*. Com isso, esse modelo de carbonização, do ponto de vista operacional, é mais interessante, pois promoverá redução de custos, uma vez que não será necessário a separação das madeiras por espécie.

4. CONCLUSÃO

A PCA permitiu selecionar madeiras de clones em concordância com os padrões de qualidade exigidos pelas indústrias produtoras de carvão vegetal. O uso das madeiras dos clones 1, 3 e 4 (grupo 1) e 2 (grupo 4) foi recomendado para a produção de carvão vegetal e os clones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12,

13 e 15 (grupo 2) apresentaram resultados considerados aceitáveis para o uso energético. Deste modo, concluiu-se o processo de seleção das madeiras com características compatíveis para o uso energético pode ser simplificado com o auxílio dessa ferramenta.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica. **Rio de Janeiro: ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2003.

ABREU NETO, R.; RAMALHO, F. M. G.; COSTA, L. R.; HEIN, P. R. G. Estimating hardness and density of wood and charcoal by near-infrared spectroscopy. **Wood Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 215-230, 2021.

DE PAULA PROTÁSIO, T.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; DE FIGUEIREDO, I. C. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of Eucalyptus clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34 - 45, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. São Paulo, 2024. (Relatório final).

KURITA, T. Principal component analysis (PCA). **In: Computer vision: a reference guide**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 1013 - 1016.

LIMA, M. D. R.; SIMETTI, R.; DE ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. D. C. O.; BUFALINO, L.; HEIN, P. R. G.; DE PAULA PROTÁSIO, T. Charcoal of logging wastes from sustainable forest management for industrial and domestic uses in the Brazilian Amazonia. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105804, 2020.

LIN, S. Y.; DENCE, C. W. (Ed.). Methods in lignin chemistry. **Springer Science & Business Media**, 2012.

LOUREIRO, B. A.; VIEIRA, T. A. S.; COSTA, L. J.; SILVA, A. B.; ASSIS, M. R. D.; TRUGILHO, P. F. Selection of superior clones of *Corymbia* hybrids based on wood and charcoal properties. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 21, n. 4, p. 619 - 630, 2019.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. D.; REZENDE, R. N.; KLITZKE, R. J. Water flow in different directions in *Corymbia citriodora* wood. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 22, n. 3, p. 385-394, 2020.

NAHRUNG, H. F.; WAUGH, R.; HAYES, R. A.; LEE, D. J. Influence of *Corymbia* hybridisation on crown damage by three arthropod herbivores. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 4, p. 383 - 388, 2011.

SILVA, P. H. M.; LEE, D. J.; AMANCIO, M. R.; ARAUJO, M. J. Initiation of breeding programs for three species of *Corymbia*: Introduction and provenances study. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, n. 1, p. e40012211, 2022.

SEGAL, L. G. J. M. A.; CREELY, J. J.; MARTIN JR, A. E.; CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, n. 10, p. 786-794, 1959.

TAPPI 222 om-02: Acid-insoluble lignin in wood and Pulp. Atlanta, GA, U.S.A: **TAPPI - technical association of the pulp and paper industry**, 2002.

TAPPI UM 250: Acid-soluble lignin in wood and Pulp. Atlanta, GA, U.S.A: **TAPPI - technical association of the pulp and paper industry**, 1991.

TAPPI 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, GA, U.S.A: **tappi - technical association of the pulp and paper industry**, 1996.

RENDIMENTO EM SERRARIA DA MADEIRA DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* (BERTOL.) KUNTZE EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA DAS TORAS

Alan da Silva Boeira¹; Erick Chagas Mustefaga²; Eraldo Antonio Bonfatti Júnior^{3*}

¹ Remassa Reflorestadora Ltda., Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil.

³ Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Brasil

*Autor correspondente (e-mail): bonfatti.junior@unesp.br

Resumo: A *Araucaria angustifolia* foi a principal espécie utilizada pelas serrarias do Sul do Brasil entre 1870 e 1970, destacando-se pela qualidade da madeira para construções e pelo bom rendimento no desdobro. Com o objetivo de compreender os fatores que influenciam o rendimento volumétrico da madeira dessa espécie, este estudo foi conduzido em uma serraria de pequeno porte localizada em Rebouças – PR. Avaliaram-se os efeitos do diâmetro, volume, conicidade e número de peças obtidas sobre o rendimento. O experimento considerou oito classes diamétricas, com amplitude de 5 cm no intervalo de 15 a 55 cm. Em cada classe, foram selecionadas aleatoriamente cinco toras para medição das dimensões e cálculo do rendimento. O rendimento volumétrico não apresentou variação significativa em função do diâmetro. No entanto, o volume, a conicidade e o número de peças aumentaram proporcionalmente ao diâmetro das toras. Embora o rendimento não possa ser explicado isoladamente por nenhuma das variáveis analisadas, observou-se associação significativa com o diâmetro e o volume. A análise multivariada revelou agrupamentos entre as classes diamétricas, permitindo a distinção entre toras de menores e maiores dimensões com base no rendimento obtido. Esses achados indicam que a avaliação conjunta de múltiplos parâmetros é mais eficaz na compreensão do desempenho do desdobro da madeira de *A. angustifolia*, especialmente quando se busca otimizar o aproveitamento em serrarias de pequeno porte.

Palavras-chave: Conífera; Diâmetro; Volume; Desdobro; Conicidade.

YIELD OF BREAKDOWN OF *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*

Abstract: *Araucaria angustifolia* was the main species used by sawmills in southern Brazil between 1870 and 1970, standing out for the quality of its wood for construction and its good yield in breakdown. Aiming to understand the factors that influence the volumetric yield of this species' wood, this study was conducted in a small sawmill located in Rebouças – PR. The effects of diameter, volume, taper, and number of pieces obtained on the yield were evaluated. The experiment considered eight diameter classes, with a 5 cm interval ranging from 15 to 55 cm. In each class, five logs were randomly selected for dimension measurement and yield calculation. The volumetric yield did not show significant variation based on diameter. However, volume, taper, and number of pieces increased proportionally to the log diameter. Although yield cannot be explained solely by any of the analyzed variables, a significant association with diameter and volume was observed. Multivariate analysis revealed groupings between diameter classes, allowing the distinction between smaller and larger logs based on the yield obtained. These findings indicate that the joint evaluation of multiple parameters is more effective in understanding the breakdown performance of *A. angustifolia* wood, especially when aiming to optimize utilization in small sawmills.

Keywords: Sawmill; Diameter; Volume; Yield; Conicity.

1. INTRODUÇÃO

A produção de madeira serrada no Brasil é uma atividade econômica importante, sustentada por espécies como *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., que têm ciclos de corte de 30 e 14 anos, e por madeira tropical proveniente da Amazônia. A *Araucaria angustifolia* foi uma das principais espécies nativas utilizadas, destacando-se como a conífera mais importante do Brasil e da América do Sul até 1970. Após esse período, sua exploração foi intensificada por ondas de colonização rural (MACEDO et al., 2016). Hoje, a espécie está ameaçada de extinção, com menos de 5% de sua área original de Floresta Ombrófila Mista (FOM) restante. A exploração de *A. angustifolia* é restringida por exigências legais, sendo necessária autorização para corte e transporte da madeira (EISFELD et al., 2020).

O rendimento é usado para avaliar o desempenho de serrarias, indicando a relação entre o volume de madeira aproveitado e o volume da tora. Fatores como diâmetro, conicidade e defeitos no fuste influenciam diretamente o rendimento (STRAGLIOTTO et al., 2023). O diâmetro das toras tem relação proporcional com o rendimento, já a conicidade das toras pode reduzir o rendimento, contribuindo para perdas de matéria-prima e afetando as propriedades da madeira (GARCIA et al., 2012).

Apesar das restrições legais à exploração de *A. angustifolia* em áreas naturais, a exploração da espécie em plantios comerciais legalizados é possível (EISFELD et al., 2020). O Relatório Ibá 2024, pela primeira vez, registrou 10 mil hectares de *A. angustifolia* plantados no Brasil, sinalizando um movimento de resgate produtivo e sustentável da espécie (IBÁ, 2024). Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do diâmetro, volume da tora, conicidade e número de tábuas sobre o rendimento em madeira serrada de *A. angustifolia* no desdobro tangencial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma serraria de pequeno porte, com capacidade produtiva de 25 m³ de toras por dia, localizada no município de Rebouças, região Centro-Sul do estado do Paraná. As toras de *Araucaria angustifolia* utilizadas na pesquisa foram provenientes de um leilão judicial, realizado após apreensão por órgãos ambientais. O desdobro principal das toras foi feito com uma serra fita vertical de 1,25 mm de espessura, composta por dois volantes de 1,10 metro. Em seguida, as peças passaram por um processo de refilamento, utilizando uma serra circular de mesa com espessura de 4,5 mm.

O método de desdobro utilizado foi o prioritariamente tangencial, e buscou obter tábuas com espessura nominal de 25,4 mm (1 polegada).

As toras foram selecionadas na mesa de estocagem da serra fita de maneira aleatória. Para cada classe diamétrica foram selecionadas cinco toras para cubagem e desdobro, em função do maior diâmetro da tora. No total 40 toras foram selecionadas de acordo com as classes diamétricas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Classes diamétricas de *Araucaria angustifolia* utilizadas no desdobro tangencial das toras.

Classe Diamétrica	Intervalo Diamétrico (cm)
Classe 1	15,0 - 19,9
Classe 2	20,0 - 24,9
Classe 3	25,0 - 29,9
Classe 4	30,0 - 34,4
Classe 5	35,0 - 39,9
Classe 6	40,0 - 44,9
Classe 7	45,0 - 49,9
Classe 8	50,0 - 55,0

A cubagem para das toras foi feita pelo método de Smalian, descrito na Equação 1.

$$V = \frac{\pi}{40000} * \left(\frac{D1+D2}{2} \right)^2 * L \quad (1)$$

Sendo que: V= volume da tora pelo método Smalian (m³); D1= diâmetro na ponta fina (cm); D2= diâmetro na ponta grossa (cm); L= comprimento da tora (m).

A conicidade foi determinada pela diferença dos diâmetros entre as extremidades, e considerando que a tora não é um cilindro perfeito, é preciso calcular qual é esse decréscimo, e para isso foi utilizada a Equação 2.

$$C = \frac{D1-D2}{L} \quad (2)$$

Sendo que: C= conicidade da tora (cm/m).

Para o cálculo do volume individual de cada peça do desdobro foi utilizada a Equação 3, a qual determinou o volume individual das peças dentro de cada classe de diâmetro, e em seguida o volume do produto foi determinado pela Equação 4.

$$V = E * L * C \quad (3)$$

Sendo que: Vp = volume da peça (m³); E= espessura da peça (m); L= largura da peça (m); e C= comprimento da peça (m).

$$V_{tp} = \sum V_p \quad (4)$$

Sendo que: Vtp = volume total do produto (m³); e $\sum V_p$ = Somatório do volume das peças.

O rendimento volumétrico expressa a razão entre o volume de madeira serrada em m³ que saiu do processo, em relação ao volume de toras que passou pelo processo de desdobro, desconsiderando as perdas como casca, costaneiras e topos. Para calcular o rendimento foi utilizada a Equação 5.

$$R = \frac{V_{tp}}{V} * 100 \quad (5)$$

Sendo que: R= rendimento em porcentagem (%); Vtp= volume total de madeira serrada em m³; V= volume total da tora em m³.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA), seguiu do Teste Tukey (p-valor < 0,05) para comparação das médias entre os tratamentos.

As associações entre as variáveis foram identificadas por meio da análise de regressão simples para ajuste da equação que represente a variação do rendimento em função do diâmetro, volume da tora, conicidade e número de tábuas. Essas regressões foram analisadas em função dos seus resíduos (Shapiro-Wilk: p-valor>0,05; Bartlett: p-valor>0,05; Durbin Watson: p-valor>0,05). A significância das associações foi verificada por meio do teste F (p-valor < 0,05).

A discriminação e agrupamento das classes diamétricas considerando todas as variáveis respostas foi realizado por meio da Análise de Componentes Principais (PCA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento em madeira serrada variou entre 50,98 e 60,00%, sem se diferenciar estatisticamente entre as classes. (Tabela 2). O volume da tora, a conicidade e o número de tábuas tendem a aumentar com o aumento do diâmetro (Tabela 2).

Tabela 2: Médias e comparação entre as médias das variáveis diâmetro, volume da tora, conicidade, número de tábuas e rendimento por classes de diâmetro.

Classes	Diâmetro (cm)		Volume da tora (m ³)		Conicidade (cm/m)		Nº de tábuas		Rendimento (%)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média*	DP

15 - 19,9	18,50 h	1,54	0,11 f	0,02	0,51 b	0,31	4,20 d	0,45	60,00	3,38
20 - 24,9	23,60 g	1,92	0,19 ef	0,02	0,59 b	0,21	4,20 d	0,45	57,99	6,87
25 - 29,9	27,16 f	1,60	0,25 ef	0,05	0,80 ab	0,23	6,40 cd	1,14	57,47	5,39
30 - 34,9	32,60 e	1,14	0,35 de	0,05	0,91 ab	0,57	8,00 bc	2,24	54,67	7,02
35 - 39,9	38,04 d	1,52	0,53 cd	0,10	1,04 ab	0,40	9,40 bc	1,14	54,47	4,63
40 - 44,9	41,74 c	1,34	0,54 c	0,07	1,12 ab	0,45	10,20 b	1,64	54,18	6,32
45 - 49,9	48,10 b	2,01	0,73 b	0,07	1,15 ab	0,75	14,80 a	2,17	52,79	4,82
50 - 54,9	52,48 a	2,22	0,99 a	0,21	1,75 a	0,62	14,20 a	3,11	50,98	2,37

Médias seguidas de letras diferentes, considerando a mesma coluna, significa diferenças estatísticas pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. *Sem diferença estatística entre as médias. DP: desvio padrão.

A conicidade tende a aumentar com o aumento da classe diamétrica (Valério et al., 2007), além da classe diamétrica, a baixa capacidade produtiva do sítio e o crescimento isolado de árvores proporcionam o aumento da conicidade (Figueiredo Filho et al., 2014). Considerando a influência no rendimento, valores inferiores a 1 cm/m não afetam o rendimento da tora (Lima; Garcia, 2011). De maneira geral a *A. angustifolia* apresenta valores baixos de conicidade, contudo a partir de 50 cm de diâmetro essa vantagem diminui, com valores próximos a 2,0 cm/m (Valério et al., 2007).

O número de tábuas aumentou em função do aumento de diâmetro pois quanto maior a tora maior a quantidade de tábuas obtidas. Por outro lado, o rendimento tende a cair pois mais cortes no fuste representam aumento na produção de resíduos (Bonfatti Júnior et al., 2020).

Os rendimentos volumétricos encontrados nesse trabalho superam o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 474, de 6 de abril de 2016. Essa normativa preconiza que quando rendimentos superiores a 35% na conversão de tora/torete em madeira serrada são encontrados, deve-se realizar um estudo técnico que caracterize e justifique esses valores, contemplando a caracterização dos equipamentos, classes diamétricas e características anatômicas dos troncos.

Os resíduos aderem a distribuição normal, apresentam homoscedasticidade e são independentes (p -valor > 0,05) (Tabela 3). Há significância estatística para o rendimento em função do diâmetro ($p = 0,0113$) e do volume da tora ($p = 0,0198$) (Tabela 3). No entanto, os coeficientes de determinação foram baixos ($R^2 = 0,13$ e $R^2 = 0,11$, respectivamente), revelando fraca explicação da variabilidade do rendimento pelas variáveis avaliadas.

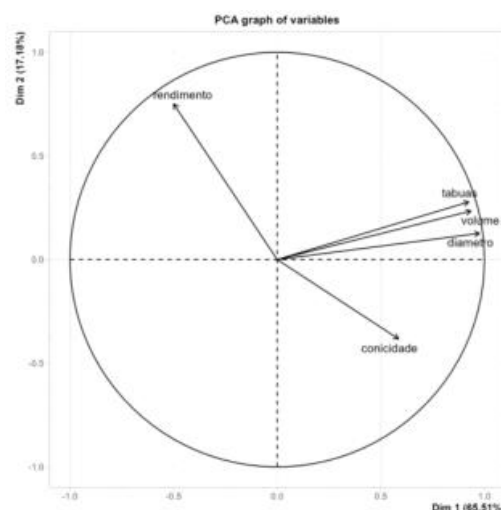
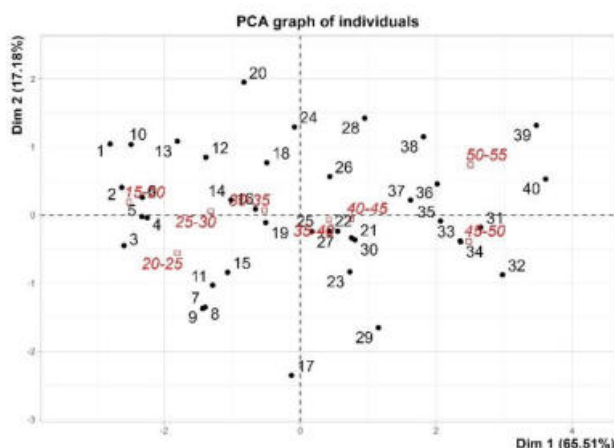
Tabela 3: Normalidade, homoscedasticidade, independência e valores do teste F das regressões.

Variável	p-valor			
	Shapiro-Wilk	Bartlett	Durbin Watson	Teste F
Diâmetro	0,9554	0,2464	0,2240	0,0113
Volume	0,0887	0,1284	0,3100	0,0198
Conicidade	0,0514	0,3148	0,6120	0,0879
Nº tábuas	0,2355	0,2293	0,3440	0,0954

Apesar de existir correlação significativa entre o diâmetro e volume das toras a regressão se mostrou pouco explicativa, logo, o rendimento tende a se manter entre 50 e 60%.

PCA explicou 82,69 % da variância dos dados, sendo 65,61% pela PC1 e 17,28% pela PC2 (Figura 1). A PC1 discriminou as quatro menores classes das quatro maiores classes, e a PC2 agrupou as classes de 15-19,9; 25-29,9 e 30-34,9, isolou a classe 20-24,9, agrupou as classes 35-39,9; 45-49,9 e 40-44,9 e isolou a classe 50-54,9.

Figura 1: Análise de componentes principais e gráfico de dispersão bidimensional das variáveis.



As classes menores foram agrupadas em função da similaridade dos rendimentos e as maiores foram agrupadas em função da similaridade do número de tábuas, volume, diâmetro e conicidade (PC1) (Figura 5). As classes 15-19,9; 25-29,9 e 30-34,9 foram agrupadas em função do rendimento (PC2), já a classe 20-24,9 se isolou em função da conicidade (PC2) (Figura 1). As classes 35-39,9; 45-49,9 e 40-44,9 foram agrupadas em função da conicidade e a classe 50-54,9 foi isolada em função do número de tábuas, volume e diâmetro (PC2) (Figura 1).

4. CONCLUSÃO

O diâmetro das toras influenciou positivamente no volume, conicidade e número de tábuas. O rendimento foi estável, variando entre 50 e 60% sem apresentar diferenças significativas, ou seja, o desdobro de toras de *A. angustifolia* é muito previsível e não sofre alterações em função do diâmetro.

Além dessa independência, o rendimento não se associa fortemente com nenhuma outra variável do desdobro, sendo nula a associação com a conicidade e número de tábuas e fraca com o diâmetro e o volume. Esses resultados indicam que o rendimento em madeira serrada é uma variável de comportamento estável, pouco explicada por características isoladas da tora.

Considerando todas as variáveis respostas, em condição multivariada, as quatro classes diamétricas menores foram segregadas das maiores em função do rendimento. Já a maior classe se segregou das demais em função do número de tábuas, volume e diâmetro.

REFERÊNCIAS

BONFATTI JÚNIOR, E. A.; LENGOWSKI, E. C.; SFEIR, T. A. NISPONGINSKI, G.; FANES, K.; DICKOW, K. M. V. Mathematical modeling to optimize pine lumber yield. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 1, p. 877-880, 2020.

EISFELD, R. L.; ARCE, J. E.; SANQUETTA, C. R.; BRAZ, E. M. É economicamente viável o plantio de araucária? Uma análise entre a espécie e seu principal substituto, o pinus. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3408, 2020.

FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S.V.; FELDE, J.L.; DIAS, A.N. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 595-603, 2014.

GARCIA, J.M; MANFIO, D.R; SANSÍGOLO, C.A; MAGALHÃES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta & Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012.

IBÁ- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2024**. Brasília, IBÁ: 2024.

LIMA, I. L, GARCIA, J. N, Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 305-312, 2011.

MACEDO, L. M.; LACERDA, A. E. B.; SEBBEN, A. M.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R. Using genetic diversity and mating system parameters estimated from genetic markers to determine strategies for the conservation of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae). **Conservation Genetics**, v. 17, p. 413-423, 2016.

STRAGLIOTTO, M. C.; OLIVEIRA, A. C.; LENGOWSKI, E. C.; ARRUDA, T. P. M.; SILVA, J. R. M.; PEREIRA, B. L. C. Log quality and lumber yield for export of five species from the Brazilian Amazon. **Environment, Development and Sustainability**, 04298-3, 2023.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T.; BRANDELEIRO, C.; KHOELER, H. S.; Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) O. KUNTZE. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 387-398, 2007.