

Artigos

Propriedades físico-químicas da madeira de *Paulownia tomentosa* Steud.

Physicochemical properties of *Paulownia tomentosa* Steud. wood

Carline Andréa Welter^I , Matheus da Silva Roso^{II} ,
Daniel Tavares de Farias^{II} , Eduardo Schmitt^{II} ,
Dieimes Maciel da Silva^{II} , Wanessa Lunardi Wacht^{II} ,
Vitória de Moura Martins^{II} , Fabiana Raquel Ratzlaff^{II} ,
Rodrigo Coldebella^{II} , Gabriela Teixeira da Silva^{II} ,
Cristiane Pedrazzi^{II} 

^IUniversidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, Brasil

^{II}Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

A madeira de *Paulownia tomentosa* Steud. tem potencial para o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado. A madeira é leve e macia, com excelentes propriedades de usinagem e acabamento, e por isso é usada para fabricação de materiais compósitos, chapas de madeira, móveis, papel e instrumentos musicais. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as características físicas e químicas da madeira de *P. tomentosa*, a fim de recomendar seu uso para a obtenção e geração de bioprodutos. Cinco árvores, com treze anos de idade, foram abatidas para retirada de discos em diferentes alturas, os quais foram processados em cunhas e serragem. Para a determinação da densidade básica, foi empregada a metodologia descrita na norma NBR 11941. Os teores de extrativos totais, ligninas e holocelulose foram determinados segundo as normas da Technical Association of the Pulp and Paper industry – TAPPI. Análises de espectrometria no infravermelho, de química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) e termogravimétrica da madeira também foram realizadas. Os resultados obtidos para a madeira de *P. tomentosa* foram: densidade básica de 0,269 g/cm³, 17,3% de extrativos totais, 17,1% da lignina Klason, 1,15 de relação S/G e teores de holocelulose de 67,7%. A análise química imediata da madeira resultou em 86,5% de materiais voláteis, 12,9% de carbono fixo e 0,6 % de cinzas. A baixa densidade básica da madeira de *P. tomentosa*, bem como o baixo teor de lignina e de carbono fixo da madeira são características desfavoráveis do ponto de vista energético. Por outro lado, devido ao alto teor de holocelulose e baixo teor de lignina, a madeira de *P. tomentosa* se mostra promissora para a produção de bioprodutos de base celulósica, como a nanocelulose.

Palavras-chave: Kiri; Composição química; Densidade básica; Bioprodutos

ABSTRACT

The wood of *Paulownia tomentosa* Steud. has the potential to develop products with high-added value. The wood is lightweight and soft, with excellent machining and finishing properties, and is therefore used to produce composite materials, wood panels, furniture, paper, and musical instruments. Thus, the objective of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of *Paulownia tomentosa* wood in order to recommend its use for the production and generation of bioproducts. Five trees, thirteen years old, were harvested to obtain discs at different heights, which were then processed into wedges and sawdust. The methodology described in standard NBR 11941 was employed to determine the basic density. The total extractive, lignin, and holocellulose levels were determined according to the standards of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Infrared spectrometry, immediate chemistry analysis (volatile materials, fixed carbon content, and ash content), and thermogravimetric analysis of the wood were also performed. The results obtained for *Paulownia tomentosa* wood were as follows: a basic density of 0.269 g/cm³, 17.3% of total extractives, 17.1% of Klason lignin, an S/G ratio of 1.15, and holocellulose content of 67.7%. The immediate chemical analysis of the wood resulted in 86.5% of volatile matter, 12.9% of fixed carbon, and 0.6% of ash content. The low basic density of *Paulownia tomentosa* wood and the low lignin and fixed carbon content are unfavorable characteristics from an energetic point of view. Conversely, due to the high holocellulose and low lignin content, *Paulownia tomentosa* wood shows promise for producing cellulose-based bioproducts, such as nanocellulose.

Keywords: Kiri; Chemical composition; Basic density; Bioproducts

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso natural renovável, composta principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, podendo ser classificada em diferentes tipos a partir das suas características tecnológicas. Cada espécie madeireira apresenta características distintas que variam de acordo com a espécie da árvore, características de sítio e ou processo de produção (Farias; Melo, 2020).

Densidade básica é uma importante propriedade física da madeira utilizada para avaliar a qualidade da madeira e auxiliar na aplicação como matéria-prima, seja na produção de polpa celulósica, em serrarias, confecção de chapas e marcenaria, ou na geração de energia com a queima de lenha, carvão, pellets ou briquetes. O conhecimento e entendimento das propriedades químicas e físicas da madeira possibilitam adequar qualquer tipo de beneficiamento, a tomada de decisão na aplicação da madeira como matéria-prima e os cálculos de transporte e logística (Carvalho *et al.*, 2023).

Além das propriedades físicas da madeira, a avaliação quantitativa dos constituintes químicos deve ser determinada primordialmente, para a sua adequação como matéria prima em diversas aplicações, visto que seus produtos derivados dependem da presença e do teor relativo de cada constituinte (Nascimento *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2023).

O gênero *Paulownia* compreende nove espécies de crescimento rápido, nativas da China e do Sudeste Asiático, popularmente conhecidas como kiri. A espécie *Paulownia tomentosa* Steud. é utilizada na ornamentação, em recuperação de áreas degradadas e na indústria de madeira serrada. A madeira é leve e macia, com excelentes propriedades de usinagem e acabamento (Jakubowski, 2022).

A espécie *Paulownia tomentosa* Steud. se destaca pela alta capacidade produtiva, que permite a exploração do seu potencial madeireiro em curtos períodos de rotação. Sua madeira apresenta massa específica de aproximadamente 0,35 g/cm³ é resistente, de fácil secagem e boa trabalhabilidade (Esteves *et al.*, 2022).

O kiri é apontado como uma espécie-chave para o futuro, pois se adapta bem a inúmeros tipos e condições de solo e clima, com potencial da madeira para uso na fabricação de chapas, materiais compósitos, material de construção, móveis, produção de papel e instrumentos musicais (Suri *et al.*, 2022).

Dessa maneira, o estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e químicas da madeira de *Paulownia tomentosa* Steud., a fim de recomendar seu uso na produção de energia e bioprodutos de base celulósica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

O estudo foi realizado com cinco árvores de *P. tomentosa* retiradas de um povoamento florestal com 13 anos de idade, localizado no município de Tuparendi, na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Para o processo de amostragem das árvores, com o auxílio de uma motosserra, foram retirados cinco discos com 3 cm de espessura de cada árvore, dispostos nas alturas: 0% ou base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore (diâmetro mínimo de 12 cm), totalizando 25 amostras. Os discos foram seccionados em quatro cunhas, aproveitando-se duas secções opostas para a determinação da densidade básica e duas para o processamento, objetivando as análises químicas. As cunhas destinadas para as análises químicas foram transformadas em palitos e, posteriormente, em serragem no moinho do tipo Willey. A serragem foi classificada no agitador eletromagnético, sendo utilizada a fração 40/60 mesh. Então, o material foi armazenado em frascos de vidros para determinação do teor de umidade.

2.2 Métodos

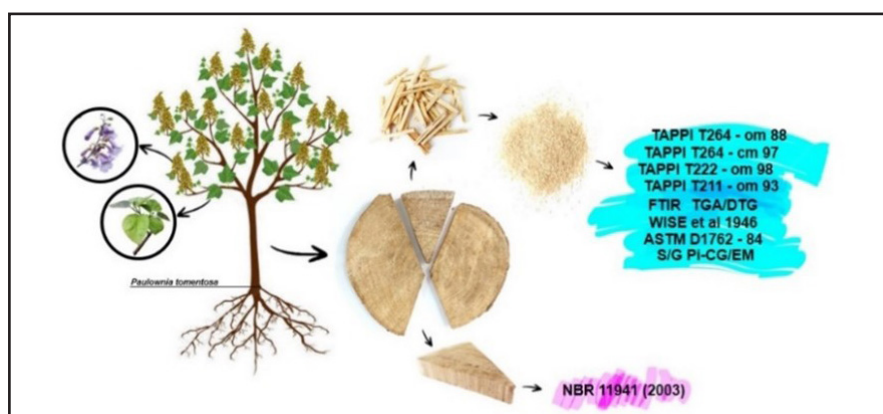
A densidade básica da madeira de *P. tomentosa* foi determinada pelo método da Balança hidrostática segundo a norma NBR 11941. Para avaliar a composição química, foram empregadas as normas TAPPI para determinar o teor de extrativos totais (T264 cm-97), lignina insolúvel em ácido sulfúrico (T222 om-98) e para a fração holocelulose foi aplicado o método Wise *et al.* (1946). A relação Siringila/Guaiacila (S/G) da lignina foi analisada por Py-CG-MS, a pirólise foi realizada em um pirolisador de micro-forno (Frontier Laboratories Ltda., Fukushima, Japão), conectado a um aparelho GC-MS (Shimadzu, modelo QP2020), utilizando uma coluna capilar Ultra-ALLOY® (UA5, 30m x 0,25 mm ID Espessura de filme de 0,25 μm). A análise da amostra foi realizada em duplicata, conforme metodologia adaptada de Silvério *et al.* (2008). A espectrometria no infravermelho foi conduzida no aparelho IR Prestige, da marca Shimadzu, pelo método de transmitância direta, utilizando a técnica de pastilhas (em forma de discos) de KBr. Os espectros foram obtidos na faixa de 400 a 4500 cm^{-1} , com varredura de 45 scans e resolução de 2 cm^{-1} .

A análise química imediata da madeira de *P. tomentosa* seguiu as normas ASTM D1762-84 (quantificação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) e

a análise termogravimétrica (TGA) foi realizada em equipamento NETZSCH TG 209F1, onde as amostras foram aquecidas até temperatura de 800°C, a uma taxa de 10°C/min, sob atmosfera de nitrogênio (10mL/min). Ao final da análise, foi possível obter curvas (termogramas), que demonstram a perda de massa (%), a partir da temperatura ambiente. Calculou-se então a primeira derivada (DTG) para a identificação dos pontos onde ocorreram os picos de perda de massa.

A Figura 1 ilustra a representação gráfica da preparação das amostras e análises realizadas com a madeira de *P. tomentosa*.

Figura 1 – Preparação da madeira de *Paulownia tomentosa* e as análises físico-químicas realizadas



Fonte: Autores (2023)

Para as avaliações dos dados gerados nas análises da madeira, aplicou-se a estatística descritiva para obter o desvio padrão e média geral dos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Densidade básica

Neste estudo a madeira de *P. tomentosa* apresentou baixa densidade, com valor médio de $0,269 \pm 0,10 \text{ g/cm}^3$, o qual é próximo aos descritos na literatura para espécies do mesmo gênero, que variaram de 0,240 a $0,350 \text{ g/cm}^3$ (Akyildiz; Kol, 2010; Kaymakci *et al.*, 2011).

Madeiras de baixa densidade apresentam valores de densidade abaixo de 0,550 g/cm³, enquanto madeiras classificadas como de média e alta densidade são aquelas com valores na ordem de 0,550 a 0,720 g/cm³, e valores superiores a 0,730 g/cm³ respectivamente (Silveira *et al.*, 2013).

Madeiras de menor densidade possuem menor resistência mecânica, em comparação com as madeiras de alta densidade. A partir da classificação quanto à densidade básica da madeira de *P. tomentosa* seu uso deve ser limitado a produtos que não exijam grandes esforços mecânicos. Suas aplicações poderiam ser na obtenção de tábuas e sarrafos, construções temporárias, caixotaria, embalagens leves e miolo de painéis (Chen *et al.*, 2020).

Para produção de polpa celulósica, a densidade da madeira é um parâmetro de grande importância e deve ser analisado, pois, conforme Pereira *et al.* (2000), o aumento da densidade básica da madeira permite uma maior quantidade de madeira dentro do digestor e conseqüentemente uma maior produção. Por outro lado, devido a essa maior densidade da madeira, existe uma maior dificuldade na individualização das fibras, demandando maior carga alcalina e tempo/temperatura para a deslignificação, o que acarreta perda de rendimento. Sendo assim, a madeira de *P. tomentosa*, por apresentar baixa densidade e rápido crescimento, poderia ser avaliada na extração de celulose.

Na produção de papéis, polpas celulósicas obtidas de madeiras menos densas, como a de *P. tomentosa*, apresentam maiores diâmetros de fibra e de lúmen, menores teores de finos, espessuras de parede de fibra e menor valor de "coarseness" (Mokfienski *et al.*, 2008). Segundo os mesmos autores, fibras com menores espessuras de parede e maiores diâmetros de lúmen têm maior potencial de colapso, facilidade de refino, maior área de contato entre fibras na formação da folha de papel e, logo, maior resistência à tração. A resistência mecânica, juntamente com a opacidade, constitui-se no principal atributo de qualidade de papéis de escrita e impressão.

3.2 Caracterização química

A biomassa lignocelulósica contém celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos em diferentes quantidades e composições químicas. O conhecimento a respeito da constituição química da madeira é um fator relevante no indicativo de futuras aplicações (Hsing *et al.*, 2016).

Na Tabela 1, são apresentados valores médios obtidos da composição química em diferentes madeiras de folhosas e comparados com os resultados obtidos para a madeira *P. tomentosa*.

Tabela 1 – Composição química média da madeira de *P. tomentosa* e de outras espécies de folhosas

Espécie	Holocelulose (%)	Lignina Klason (%)	Extrativos totais (%)	Cinzas (%)
<i>Paulownia tomentosa</i> ^(a)	81,9	17,1	17,3	0,6
<i>Paulownia tomentosa</i> ^(b)	78,8	22,1	-	-
<i>Paulownia fortunei</i> ^(c)	81,2	24,6	-	-
<i>Toona ciliata</i> ^(d)	70,3	18,6	10,0	1,0
<i>Eucalyptus</i> spp. ^(e)	71,4	24,3	2,5	-
<i>Eucalyptus saligna</i> ^(f)	69,9	26,0	4,5	0,5
<i>Ilex paraguariensis</i> ^(g)	66,6	16,2	18,5	3,6
<i>Ochroma pyramidalis</i> ^(h)	67,9	26,5	5,6	1,1

Fonte: Autores (2023)

Em que: ^{a)} Este estudo; ^{b)} Kalaycioglu, Deniz e Hiziroglu (2005); ^{c)} Ashori e Nourbakhsh (2009); ^{d)} Bufalino, Protásio, Couto, Nassur, Sá, Trugilho e Mendes (2012); ^{e)} Andrade, Minhoni, Sansígolo e Zied (2010); ^{f)} Trugilho, Lima e Mendes (1996); ^{g)} Rosa (2020); ^{h)} Caldeira (2017).

As celulosas mais as hemicelulosas formam a fração de carboidratos na madeira, que é, frequentemente, denominada de holocelulose. De acordo com a Tabela 1, a madeira de *P. tomentosa* resultou no maior teor de holocelulose (81,9%) e menor de lignina (17,1%), quando comparados aos valores encontrados na literatura para madeiras do mesmo gênero (Kalaycioglu *et al.*, 2005; Ashori; Nourbakhsh, 2009), podendo ser considerada, dessa maneira, matéria-prima de boa qualidade para

obtenção de produtos de base celulósica, como a nanocelulose e polpa celulósica para papel. Segundo Oliveira *et al.* (1982), a holocelulose é desejável para a indústria de papel e celulose, pois determina as características da polpa, como resistência e rendimento, sendo os compostos da madeira responsáveis pela formação da maior parcela de ácido acético, durante a decomposição térmica.

Quando o teor de lignina aumenta, implica em uma diminuição no teor de holocelulose, resultando em madeiras de menor densidade básica, corroborando a baixa densidade da madeira de *P. tomentosa* obtida neste estudo ($0,269 \pm 0,10 \text{ g/cm}^3$) (Vale *et al.*, 2010).

Além da quantificação da lignina, o estudo das estruturas químicas e grupos funcionais que a compõe também é importante, uma vez que afetam diretamente a reatividade e o rendimento dos processos de transformação da madeira, a fim de se obter derivados que podem ser utilizados em diferentes aplicações (Longue *et al.*, 2013).

A relação S/G encontrada neste estudo foi de $1,15 \pm 0,25$, menor em relação às encontradas em estudos com madeiras de eucalipto, em torno de 2 a 4,3 (Gomes; Vieira, 2023; Santos *et al.*, 2016). Menores relações S/G podem afetar positivamente o rendimento em energia, pois o grupo guaiacila por apresentar posição aromática C5 disponível para fortes ligações entre átomos de carbono durante a biossíntese da lignina, possibilita a formação de estruturas químicas condensadas e estáveis termicamente (Santos *et al.*, 2016).

Com isso, em processos de carbonização de madeiras, quanto maior o teor de lignina e menor a relação S/G, maior será o rendimento em carvão vegetal, devido à maior resistência à degradação térmica, resultado da presença de estruturas químicas mais condensadas (Santos *et al.*, 2016), favorecendo assim o uso da madeira de *P. tomentosa* para energia.

Do ponto de vista da fabricação dos produtos de base celulósica, a deslignificação, além da acessibilidade, depende da reatividade das ligninas, que é influenciada pela relação S/G. Madeiras com alta relação S/G são mais fáceis de cozinhar, influenciando o

rendimento na linha de fibras das fábricas (Gomes; Vieira, 2023). Neste estudo, apesar da menor relação S/G (1,15), a madeira de *P. tomentosa* poderia ser considerada fonte de fibras para as indústrias de celulose devido ao menor teor de lignina (17,1%) quando comparada as madeiras de eucalipto (Tabela 1) que são tradicionalmente utilizadas para produção de polpa celulósicas no Brasil.

Os extrativos exercem um papel importante na utilização da madeira e influenciam suas propriedades físicas. Constituintes coloridos e voláteis fornecem valores estéticos. Certos compostos fenólicos fornecem resistência contra o ataque de fungos e de insetos aumentando a durabilidade da madeira (Wastowski, 2018). A madeira de *P. tomentosa* apresentou alto teor de extrativos (17,3%) quando comparada às madeiras de eucalipto (Tabela 1), o que poderia afetar o rendimento de polpação dessa madeira.

Almeida, Brito e Perré (2010) avaliaram a influência dos extrativos da madeira na polpação e recomendaram a inclusão do teor de extrativos como um critério de seleção de madeiras para produção de polpas kraft, uma vez que, embora a maioria dos extrativos seja removida no início da polpação, eles consomem reagentes e afetam negativamente a qualidade do produto final, diminuindo o rendimento em polpa.

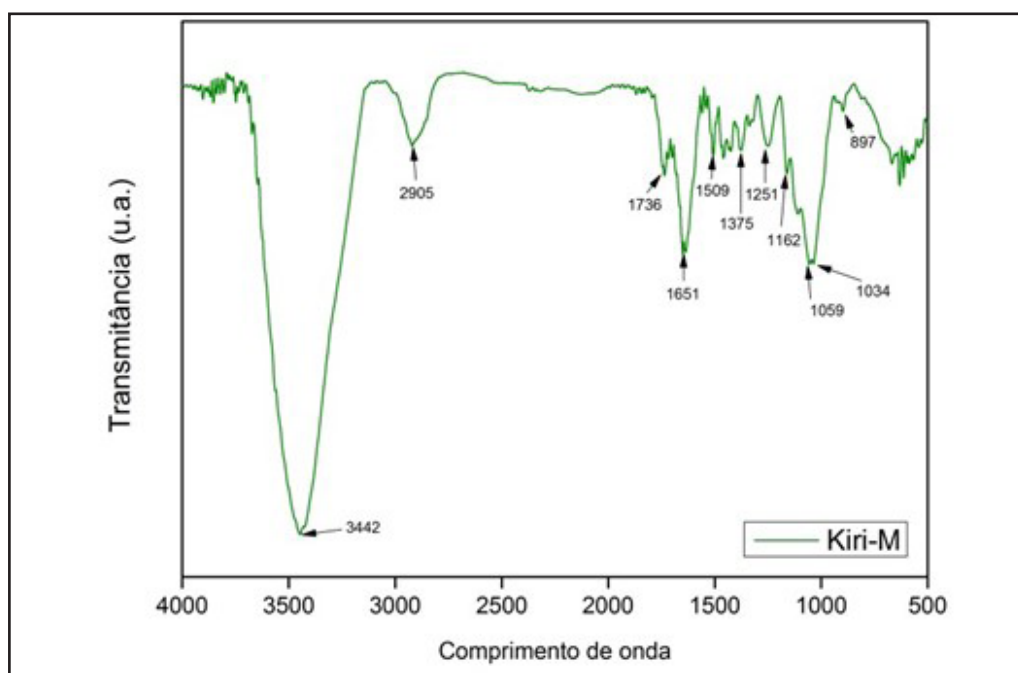
Conforme a resistência à degradação térmica dos extrativos presentes na madeira, altos teores deste componente otimizam a produção de energia pelo aumento do poder calorífico (Brand *et al.*, 2015). Dessa forma, a madeira de *P. tomentosa* desse estudo pode ser apta para produção de energia. Vale ressaltar que os extrativos são constituintes que ocupam lúmens e vacúolos, ou seja, espaços externos às paredes celulares, logo somam peso seco à biomassa, acarretando ganhos energéticos.

O teor de cinzas médio encontrado neste trabalho para madeira de *P. tomentosa* foi de 0,78% (Tabela 1). Baixos teores de cinza, como o encontrado para esta madeira, é positivo para o uso energético, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal, pois, conforme Andrade *et al.* (2010), quando a madeira é utilizada como um insumo energético, o acúmulo de minerais irá interferir na sua combustão

e nas demais propriedades combustíveis da mesma. Os compostos minerais presentes na madeira podem passar para o carvão vegetal, o que, em certos casos, reduz significativamente a sua qualidade. As propriedades químicas do carvão são negativamente afetadas com o aumento do teor de cinzas, causando assim uma redução no teor de carbono.

A Figura 2 apresenta o espectro da análise de espectrometria no infravermelho (FT-IR) para a madeira de *P. tomentosa*, demonstrando a distribuição dos elementos segundo sua magnitude.

Figura 2 – Kiri-M - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da madeira de *P. tomentosa*



Fonte: Autores (2023)

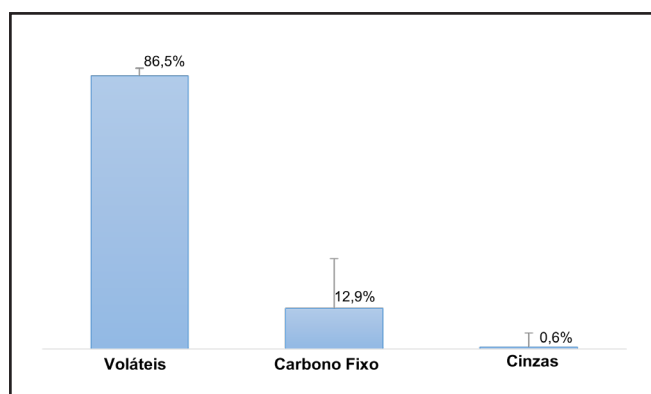
A presença das bandas espectrais em 1251 cm^{-1} , de baixa intensidade, é característica do grupo éster C-O atribuído à lignina (Xia *et al.*, 2016), e a banda em 1736 cm^{-1} é atribuída à vibração de estiramento C=O dos grupos carbonila e acetila das hemiceluloses (Oun; Rhim, 2016). Além disso, as bandas a 1509 cm^{-1} e 1251 cm^{-1} (vibrações do anel aromático) foram relacionadas à presença de lignina e ao modo de vibração de estiramento do oxigênio associado às hemiceluloses, respectivamente (Mokfienski *et al.*, 2008).

A banda presente entre 3500 e 3200 cm^{-1} refere-se ao estiramento O-H, característico da celulose (Mandal; Chakrabarty, 2011). As bandas presentes em 897 e 1059 cm^{-1} também corresponderam à estrutura da celulose (Alemdar; Sain, 2008), e a banda centrada em 1162 cm^{-1} foi associada ao estiramento assimétrico C-O-C da celulose (Chen *et al.*, 2016).

Foram registrados os picos: 1375 cm^{-1} (dobramento C-H), 1338 cm^{-1} (dobramento no plano de ligação O-H), 1109 cm^{-1} (C-O-C de ligação éter glicosídica), 1059 cm^{-1} (vibração de estiramento C-O-C de anel de piranose), 1034 cm^{-1} (C-O-C de ligação éter de hemicelulose ou lignina) (Johar *et al.*, 2012).

Os resultados da análise química imediata da madeira de *P. tomentosa* são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Teores de materiais voláteis, carbono fixo e de cinzas da madeira de *P. tomentosa*



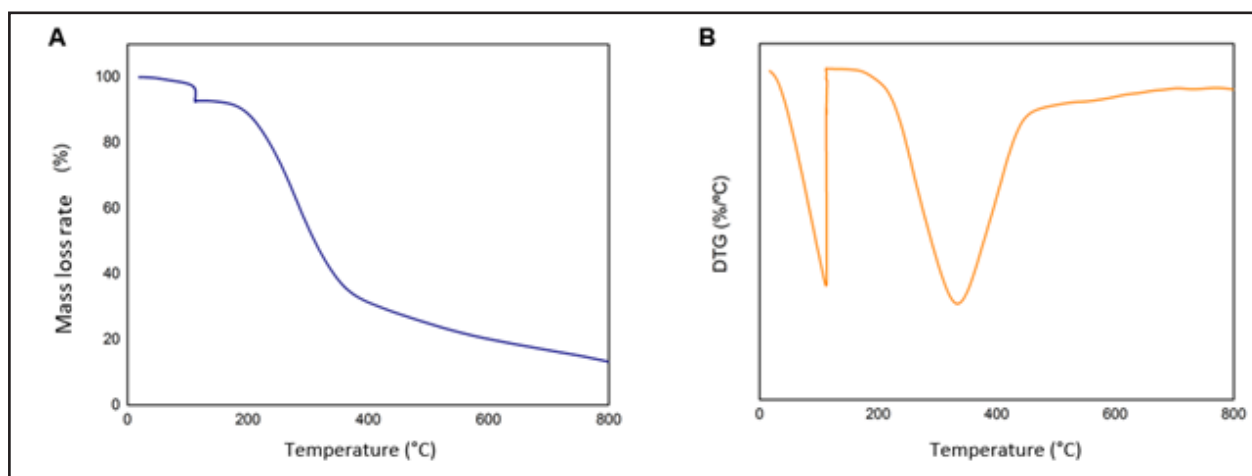
Fonte: Autores (2023)

De acordo com a Figura 3, foram obtidos valores de $86,5 \pm 2,0\%$ de materiais voláteis, $12,9 \pm 2,0\%$ de carbono fixo e $0,6 \pm 0,03\%$ para teor de cinzas. Segundo Gouvêa *et al.* (2017), quanto maior o teor de lignina em madeiras, menor será a quantidade de materiais voláteis produzidos por esse material, o que pode ser explicado pela estrutura química da lignina que tem anel aromático, e assim possuir alta quantidade de carbono fixo. Essa afirmação é condizente com os resultados encontrados neste

estudo, onde a madeira *P. tomentosa* apresentou alto teor de materiais voláteis (Figura 3), devido ao baixo teor de lignina (Tabela 1).

O comportamento de degradação térmica da madeira de *P. tomentosa* foi investigado por análise termogravimétrica (TGA) e a primeira derivada (DTG) e os resultados obtidos são apresentados na Figura 4 A e B, respectivamente.

Figura 4 – Degradação térmica (TG e DTG) da madeira de *P. tomentosa*



Fonte: Autores (2023)

Em que: A: perda de massa (%) em função da temperatura, determinado por TGA; B: taxa de perda de massa, determinada pelo cálculo da primeira derivada (%/°C)

Conforme a Figura 4, a perda de massa da madeira de *P. tomentosa* evidenciou a ocorrência de três eventos: (1) evaporação de água até a temperatura de 100°C; (2) degradação térmica da celulose, com taxa máxima na faixa de 300 a 325°C; e (3) degradação de resíduos carbonáceos para temperaturas acima de 400°C (Ouajai; Shanks, 2005). A degradação térmica da madeira iniciou em aproximadamente 226°C, e a taxa de degradação atingiu seu pico máximo a 334 °C, atribuído à degradação de hemiceluloses e lignina.

4 CONCLUSÕES

A densidade básica da madeira de *P. tomentosa* foi de 0,269 g/cm³, e a composição química da madeira foi de 17,3% para extrativos totais, 17,1% de lignina Klason (com relação S/G de 1.15) e 67.7% de holocelulose. A análise química imediata indicou 86,5% de materiais voláteis, 12,9% de carbono fixo e 0,6 % de cinzas. Considerando-se os resultados verificados, é possível identificar potenciais usos para essa madeira, com valorização e agregação de valor à espécie.

A baixa densidade básica da madeira de *P. tomentosa*, bem como o baixo teor de lignina e de carbono fixo da madeira são pontos desfavoráveis do ponto de vista energético. Por outro lado, devido ao alto teor de holocelulose e baixo teor de lignina, a madeira de *P. tomentosa* se mostra promissora para a produção de bioprodutos de base celulósica, como a nanocelulose.

REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, M. H.; KOL, H. S. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. **Journal of Environmental Biology**, v. 31, n. 3, p. 351–355, 2010.
- ALEMDAR, A.; SAIN, M. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues - Wheat straw and soy hulls. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 16641671, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.04.029
- ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRÉ, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 24, p. 9778–9784, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.026
- ANDRADE, M.C. N. de; MINHONI, M.T. de A.; SANSÍGOLO, C.A.; ZIED, D.C. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 165-175, 2010. DOI: 10.1590/S0100-67622010000100018
- ASHORI, A.; NOURBAKHS, A. Studies on Iranian cultivated paulownia – a potential source of fibrous raw material for paper industry. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 67, n. 3, p. 323–327, 2009. DOI: 10.1007/s00107-009-0326-0
- BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A. de; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Quality of charcoal for domestic consumption marketed in the southern highlands region of Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1165–1173, 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000600020

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A. de; 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, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.70.13

CALDEIRA, R. A. P. F. **Propriedades da madeira de pau-de-balsa em duas idades**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. 2017. 31 p.

CARVALHO, R. A.; SILVA, G. F. da; PINHEIRO, C. J. G.; HENRIQUES, W. B.; FARIA, M. F. de M. de. Predição da densidade básica de *Eucalyptus* sp. por meio da técnica não destrutiva de ultrassom. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 2, e70092, p. 1-15, 2023. DOI: 10.5902/1980509870092

CHEN, C.; KUANG, Y.; ZHU, S.; BURGERT, I.; KEPLINGER, T.; GONG, A.; LI, T.; BERGLUND, L.; EICHHORN, S. J.; HU, L. Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. **Nature Reviews Materials**, v. 5, n. 9, p. 642–666, 4 maio 2020. DOI: 10.1038/s41578-020-0195-z

CHEN, Y. W.; LEE, H. V.; JUAN, J. C.; PHANG, S. M. Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 1210–1219, 2016. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.06.083

ESTEVES, B.; CRUZ-LOPES, L.; VIANA, H.; FERREIRA, J.; DOMINGOS, I.; NUNES, L. J. R. The Influence of Age on the Wood Properties of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. **Forests**, v. 13, n. 5, p. 700, 29 abr. 2022. DOI: 10.3390/f13050700

FARIAS, D. T. D.; 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. DOI: 10.34062/afs.v7i3.10333. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/10333>. Acesso em: 20 jan. 2024.

GOMES, M. D. de S.; VIEIRA, F. J. Análise das propriedades físicas da madeira das espécies *Azadirachta indica* A. juss e *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. **Revista Biodiversidade**, v. 22, n. 2, p. 69-79, 2023.

GOUVÊA, A. de F. G.; CARVALHO, A. M. M. L.; SILVA, C. M.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F.; FREITAS, F. P. de; VALADARES, L. B.; GOMES, C. M.; COSTA, E. B. Estudo da adição da lignina kraft nas propriedades mecânicas dos briquetes de resíduos da indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 1029–1036, 2017. DOI: 10.5902/1980509828678

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, n.1, p. 273–283, 2016. DOI: 10.5902/1980509821119

JAKUBOWSKI, M. Cultivation Potential and Uses of *Paulownia* Wood: A Review. **Forests**, v. 13, n. 5, p. 668, 26 abr. 2022. DOI: 10.3390/f13050668

KALAYCIOGLU, H.; DENIZ, I.; HIZIROGLU, S. Some of the properties of particleboard made from paulownia. **Journal of Wood Science**, Japão, v. 51, n. 4, p. 410–414; 2005. DOI: 10.1007/s10086-004-0665-8

KAYMAKCI, A.; BAL, B. C.; BEKTAS, I. Some properties and uses of *Paulownia* wood. **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, Turquia, v. 11, n. 2, p. 228-238, 2011. ISSN 1303-2399.

LI, Z.; CHU, S.; ZHANG, Y.; LIN, L.; LIU, X. Transforming interface properties of wood laminate composites functionalized by adhesive penetration. **Composites Part B: Engineering**, v. 263, p. 110859, 2023. DOI: 10.1016/j.compositesb.2023.110859

LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 429–438, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.76.528

MANDAL, A.; CHAKRABARTY, D. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 3, p. 1291-1299, 2011. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.06.030

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 401–413, 2008. DOI: 10.5902/19805098451

NASCIMENTO, C.; NASCIMENTO, C.; ARAÚJO, R.; SOARES, J.; HIGUCHI, N. Characterization of technological properties of matá-matá wood (*Eschweilera coriacea* [DC.] S.A. Mori, E. odora Poepp. [Miers] and *E. truncata* A.C. Sm.) by Near Infrared Spectroscopy. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 14, n. 5, p. 400–407, 31 out. 2021. DOI: 10.3832/ifor3748-014. Disponível em: <https://iforest.sisef.org/?doi=ifor3748-014>. Acesso em: 23 jan. 2024.

OLIVEIRA, J.B. de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M. G.; GOMES P. A. **Produção de carvão vegetal – aspectos técnicos**. In: PENEDO, W. R. - Produção e utilização de carvão vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Publicações Técnicas. CETEC: Belo Horizonte. p. 59-74, 1982.

OUAJAI, S.; SHANKS, R. A. Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, n. 2, p. 327-335, 2005. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.01.016

OUN, A. A.; RHIM, J. W. Isolation of cellulose nanocrystals from grain straws and their use for the preparation of carboxymethyl cellulose-based nanocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 150, p. 187–200. 2016. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.05.020

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

ROSA, C. P. D. **Estádios embrionários e pré-condicionamento para superação de dormência de sementes de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (Aquifoliaceae)**. 2020. Dissertação (Pós-graduação em Agrobiologia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2020. 70p.

SANTOS, R.C. dos; CARNEIRO, A. de 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**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016. DOI: 10.5902/1980509822765

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. do. Moisture content and basic wood density of nine commercial Amazonian tree species. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p.179 – 184, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000200007

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; FIDÊNCIO, P. H.; CRUZ, M. P.; VELOSO, D. P.; MILANEZ, A. F. Effect of storage time on the composition and content of wood extractives in *Eucalyptus* cultivated in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 11, p. 4878 – 4886, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.066

SURI, I. F.; PURUSATAMA, B. D.; KIM, J. H.; YANG, G. U.; PRASETIA, D.; KWON, G. J.; HIDAYAT, W.; LEE, S. H.; FEBRIANTO, F.; KIM, N. H. Comparison of physical and mechanical properties of *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in oil and air. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 80, n. 6, p. 1389–1399, 1 dez. 2022. DOI: 10.1007/s00107-022-01840-4

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M., Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 97 - 111, 1996.

VALE, A. T. do; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010. DOI: 10.5902/198050981767

WASTOWSKI, D.A. **Química da Madeira**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2018. 556p. ISBN 9788571934078.

WISE, L. E.; MURPHY, M.; D'ADDIECO, A.A. Chlorite holocelulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemiceluloses. **Paper Trade Journal**, v. 122, p. 35-43, 1946.

Contribuição de Autoria

1 Carline Andréa Welter

Doutora em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-2690-2881> • carlinewelter@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Disponibilização de ferramentas; Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original

2 Matheus da Silva Roso

Graduando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-4346-051X> • mthsroso99@gmail.com

Contribuição: Desenvolvimento, implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Escrita – revisão e edição

3 Daniel Tavares de Farias

Mestre em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-7621-3681> • danieltavaresf7@gmail.com

Contribuição: Pesquisa; Metodologia; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

4 Eduardo Schmitt

Graduando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0009-0006-0165-2133> • eduardowschmitt@gmail.com

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

5 Dieimes Maciel da Silva

Graduando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0009-0007-5052-897X> • dieimessilva47@gmail.com

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

6 Wanessa Lunardi Wacht

Graduanda em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-2630-6783> • wanessalunardiw@hotmail.com

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

7 Vitória de Moura Martins

Graduanda em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0009-0009-9144-0696> • vitoria.mm.63@gmail.com

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

8 Fabiana Raquel Ratzlaff

Doutora em Medicina Veterinária

<https://orcid.org/0000-0002-6083-1717> • fabiratzlaff@yahoo.com.br

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

9 Rodrigo Coldebella

Doutor em Engenharia Florestal, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7063-1874> • rodrigocoldebella@yahoo.com.br

Contribuição: Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

10 Gabriela Teixeira da Silva

Engenheira Florestal

<https://orcid.org/0009-0005-9779-9326> • gabriela.teixeira@acad.ufsm.br

Contribuição: Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

11 Cristiane Pedrazzi

Doutora em Engenharia Florestal, Professora

<https://orcid.org/0000-0003-4976-467X> • cristiane.pedrazzi@ufsm.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Supervisão; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

WELTER, C. A.; ROSO, M. S.; FARIAS, D. T.; SCHMITT, E.; SILVA, D. M.; WACHT, W. L.; MARTINS, V. M.; RATZLAFF, F. R.; 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, p. 1-19, 2024. DOI 10.5902/1980509885562. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509885562>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.

