

Influência da densidade e da composição química da madeira no rendimento e qualidade da polpa celulósica

DOI: 10.5281/zenodo.14010583

André L. X. S. Soares a*

This review article aims to address the relationship between basic wood density and chemical composition with the quality of pulp. A total of 59 genetic materials, predominantly from the genera *Eucalyptus* and *Pinus*, were analyzed, comparing their characteristics for application in the pulp industry.

Este artigo de revisão visa abordar a relação entre a densidade básica e a composição química da madeira com a qualidade da polpa celulósica. Foram analisados 59 materiais genéticos, predominantemente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, comparando suas características para aplicação na indústria de polpa.

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de celulose, ocupando uma posição de destaque no cenário global devido às suas condições climáticas favoráveis e à vasta área dedicada ao cultivo de árvores comerciais, especialmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores IBÁ, o país conta com 9,94 milhões de hectares de plantios comerciais, sendo 75,8% dessa área dedicada ao *Eucalyptus*, com produtividade anual de 7,6 milhões de hectares, e 19,4% ao *Pinus*, totalizando 1,9 milhões de hectares por ano. Esse cenário faz do Brasil uma referência mundial em eficiência florestal e práticas sustentáveis de manejo.¹

Ademais, a madeira é uma matéria-prima heterogênea, cujas propriedades tecnológicas, como densidade básica e composição química, podem variar significativamente entre diferentes árvores e até mesmo dentro da mesma árvore. Essas variações impactam diretamente a eficiência do processo de polpação e a qualidade da polpa resultante. Estudos, como o trabalho de trabalho de Ramos et al intitulado “Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso”, indicam que a densidade básica da madeira é uma das variáveis mais relevantes na determinação da qualidade da polpa.²

Além de ser de fácil mensuração, essa característica se correlaciona de maneira significativa com outras propriedades tecnológicas da madeira, influenciando o rendimento e a qualidade do produto. Por outro lado, a composição química do recurso florestal, especialmente os teores de celulose, hemiceluloses, lignina e extractivos,

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail:andreluidxavier@gmail.com

Palavras-chave: Qualidade da madeira; eucalyptus; pinus; celulose; indústria de papel.

Aceito em 07 de setembro de 2024,
Aprovado em 15 de outubro de 2024,
Publicado em 31 de outubro de 2024.

desempenha um papel essencial no consumo de reagentes químicos e no teor de sólidos no licor negro durante o processo de polpação.³

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre a influência da densidade básica e da composição química da madeira nas principais variáveis do processo de polpação e nas características da polpa celulósica não branqueada. A análise busca identificar as correlações entre essas propriedades tecnológicas da madeira e o desempenho industrial, com foco nas espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, amplamente utilizadas pela indústria brasileira de celulose.

Metodologia

Este artigo foi desenvolvido com base na realização de uma pesquisa bibliográfica sobre a indústria brasileira de papel e no impacto da densidade e composição química da madeira no produto. Teve como base o artigo de referência,² e incluiu também artigos científicos, dissertações e teses.

A triagem do material seguiu três níveis de seleção. Primeiramente, foram selecionados os estudos que abordavam a relação entre a densidade básica e a composição química da madeira com as variáveis do processo de polpação e as características da polpa celulósica não branqueada. Em um segundo nível, foi dada preferência a trabalhos que especificavam as espécies ou clones de *Eucalyptus* e *Pinus*, com detalhes sobre o espaçamento, a idade e o local dos plantios. No terceiro nível, foram considerados os estudos que apresentavam claramente as principais variáveis do processo de polpação, como temperatura, álcali ativo e sulfidez, assim

como as características da polpa celulósica, incluindo rendimento, número kappa e viscosidade.⁴

O número kappa é uma medida utilizada na indústria de polpa celulósica para indicar a quantidade residual de lignina na polpa após o processo de cozimento. Ele é calculado com base na quantidade de permanganato de potássio consumida em uma amostra de polpa, e quanto maior o número kappa, maior o teor de lignina restante. Esse valor é crucial para determinar a eficiência do cozimento e a necessidade de etapas posteriores, como o branqueamento, para remover a lignina residual e produzir uma polpa de alta qualidade.⁵

A carga álcali refere-se à quantidade de substâncias alcalinas, como hidróxido de sódio (NaOH), utilizadas no processo de polpação para remover lignina e outras impurezas de árvores comerciais. Essa quantidade é cuidadosamente controlada para garantir que a reação seja eficiente, sem resultar em excesso de degradação das fibras de celulose, a carga de álcali tem um impacto direto na qualidade da polpa, no rendimento e na economia do processo.⁶

Após a coleta das informações, foi feita a categorização conforme: características do plantio (espécies, idade, espaçamento, localização), características da madeira (densidade básica e composição química), variáveis do processo de polpação (tempo de cozimento, álcali ativo, sulfidez) e características da polpa celulósica não branqueada (rendimento, número kappa e viscosidade). A partir dessas informações, foi possível estabelecer correlações matemáticas entre as variáveis, com o objetivo de identificar a influência da densidade básica e da composição química da madeira sobre as variáveis de processo e o desempenho da polpa celulósica não branqueada. No artigo “Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de Eucaliptos” de Gouvêa *et all*³, foi realizado uma série de análises estatísticas, utilizando os softwares SPSS e R, que permitiram a obtenção de coeficientes de correlação significativos, indicando os principais fatores que impactam a eficiência da polpação.³

A partir deste material, uma análise comparativa foi realizada para explorar a influência de diferentes tempos de cozimento sobre a qualidade da polpa celulósica. Foram utilizados três tempos de cozimento (140, 150 e 253 minutos) e ajustada a carga alcalina em função da variação da densidade básica e da composição química dos recursos florestais. Essa comparação, focada apenas nas madeiras do gênero *Eucalyptus*, devido à limitada quantidade de informações sobre *Pinus*, permitiu identificar como essas variáveis afetam a

qualidade da polpa celulósica. Os dados foram representados graficamente, facilitando a visualização das interações entre as variáveis estudadas e fornecendo um panorama claro sobre os melhores parâmetros para otimização do processo de polpação.

Por fim, a metodologia adotada neste estudo de revisão permitiu uma análise detalhada das variáveis investigadas no artigo base, que investigou como a densidade básica e a composição química da madeira influenciam o rendimento e a qualidade da polpa celulósica não branqueada. Através da análise de dados comparativos entre clones de *Eucalyptus* e *Pinus*, foram identificadas correlações significativas entre a densidade básica da madeira, o consumo de reagentes químicos e o tempo de cozimento, destacando como essas variáveis afetam diretamente a eficiência do processo de polpação.

Além disso, a revisão aprofundou as análises relacionadas ao impacto da composição química da madeira, incluindo teor de lignina e extrativos, sobre a qualidade da polpa. Essa abordagem forneceu uma compreensão clara das interações entre as propriedades da madeira e as variáveis do processo de polpação, revelando áreas para possíveis otimizações da produção.

Resultados e discussão

Avaliação das Informações sobre Caracterização Tecnológica dos Diferentes Tipos de Madeira

A pesquisa realizada revelou uma diversidade significativa na qualidade e na disponibilidade das informações sobre a madeira utilizada na produção de polpa celulósica, dentre os 59 materiais genéticos analisados, 79,7% eram de *Eucalyptus* e 20,3% de *Pinus*, mas faltavam informações importantes sobre os plantios, como idade, espaçamento e procedência. No caso do *Eucalyptus*, 28% dos estudos não informaram a idade, 57% não informaram o espaçamento, e 28% não mencionaram a procedência. Para o *Pinus*, 17% não informaram a idade, 83% o espaçamento, e nenhum estudo mencionou a procedência. Apenas 45% dos estudos sobre *Eucalyptus* e nenhum sobre *Pinus* apresentaram todas essas informações essenciais.

Com relação às características da madeira, todos os trabalhos sobre *Eucalyptus* forneceram dados sobre densidade básica, teores de lignina total, holocelulose e extrativos, embora 64% não informassem os teores separados de celulose e hemicelulose e 36% não apresentassem a relação S/G da lignina. Para o *Pinus*, as informações sobre densidade básica,

lignina total, holocelulose e extractivos estavam completas, mas os teores de celulose e hemicelulose não foram separados em nenhum dos trabalhos analisados. Esses resultados indicam a necessidade urgente de mais rigor na coleta e apresentação de dados sobre a qualidade da madeira, especialmente para o *Pinus*, para uma melhor avaliação do processo de polpação e da qualidade da polpa celulósica.⁶

Influência da Densidade Básica da Madeira na Qualidade da Polpa Celulósica

Os dados revelam que o rendimento em polpa de *Eucalyptus* variou entre 47,3% e 57,6% com densidade básica variando de 276 a 668 kg/m³, enquanto o rendimento de *Pinus* variou entre 44,2% e 50,7% para densidade básica entre 373 e 436 kg/m³. A densidade básica dos clones de *Eucalyptus* que apresentaram os melhores rendimentos estava entre 400 e 550 kg/m³, superior à densidade observada para *Pinus*. A análise mostrou que, para *Eucalyptus*, o rendimento da polpa não branqueada se manteve constante com a variação da densidade básica, uma vez que o processo de polpação foi ajustado para atingir um número kappa objetivo (17-18). Em contraste, para *Pinus*, o rendimento diminuiu à medida que a densidade básica aumentou, sugerindo uma maior dificuldade de deslignificação com densidades mais altas.⁷

As madeiras de *Eucalyptus* com densidade básica média entre 450-550 kg/m³ são recomendadas para a indústria de celulose, pois proporcionam um bom rendimento de cozimento e menor consumo específico de madeira. O número kappa variou de 15,2 a 18,8 para *Eucalyptus* e de 30,9 a 31,5 para *Pinus*, refletindo a necessidade de ajustar as condições de cozimento conforme o tipo de madeira e a produção desejada.⁸

Influência da Composição Química da Madeira na Qualidade da Polpa Celulósica

A composição química da madeira tem um impacto significativo na qualidade da polpa celulósica não branqueada. Para *Eucalyptus*, o rendimento em polpa variou de 47,3% a 57,6%, sendo que teores mais altos de holocelulose (acima de 55%) correlacionaram-se com melhores rendimentos. Em contraste, o aumento no teor de lignina reduziu o rendimento de 56,7% para 54,7%. O teor de extractivos não apresentou uma tendência clara em *Eucalyptus*, refletindo sua baixa quantidade de extractivos.⁹

Para *Pinus*, o rendimento em polpa variou de 44,2% a 50,7%, aumentando com o teor de holocelulose e com o teor de lignina, em parte devido à menor densidade básica facilitando a deslignificação. O rendimento também foi afetado

negativamente pelo aumento do teor de extractivos, que variou de 2,8% a 6,4%.⁹ A relação entre composição química e número kappa foi estável, independentemente da madeira, com valores variando entre 17,0-18,0 para *Eucalyptus* e 30,0-32,0 para *Pinus*.¹⁰

Influências dos Parâmetros do Processo de Polpação na Qualidade da Polpa Celulósica

Os parâmetros do processo de polpação, como tempo e carga de álcali, foram ajustados para otimizar a qualidade da polpa não branqueada. Para *Eucalyptus*, o rendimento foi maior com condições extremas de cozimento (tempo e carga de álcali) e menor com combinações intermediárias. O número kappa variou pouco entre os diferentes parâmetros, indicando que a intensidade do processo de polpação foi ajustada para garantir a qualidade desejada da polpa não branqueada.

Conclusões

O estudo de Ramos et al. revelou que a densidade básica e a composição química da madeira desempenham papéis cruciais na eficiência e qualidade do processo de polpação celulósica, as madeiras de *Eucalyptus* com densidade média entre 450-550 kg/m³ e teores elevados de holocelulose e baixos de lignina são preferidas para otimizar o rendimento e a qualidade da polpa. Para *Pinus*, a menor densidade básica facilita a deslignificação, mas a presença elevada de lignina e extractivos pode impactar negativamente o rendimento e a qualidade da polpa. Esses achados são valiosos para a indústria, pois a escolha adequada do material genético pode influenciar diretamente o consumo de químicos e a eficiência do processo de polpação, além de impactar o custo energético e ambiental.

A pesquisa também evidenciou lacunas significativas na coleta e no reporte de dados cruciais, como a idade dos clones, o espaçamento e o local de procedência dos plantios. Isso sugere que, além da seleção da madeira, é essencial padronizar e aprimorar as práticas de coleta de dados para possibilitar uma análise mais precisa e comparativa entre diferentes materiais genéticos e condições de cultivo.

Além disso, o estudo destaca a importância de um maior investimento em estudos que correlacionem a composição química da madeira com os parâmetros de processo e qualidade da polpa, especialmente para *Pinus*, onde o conhecimento ainda é limitado. Essa abordagem permitirá não apenas a otimização dos processos de polpação, mas também a redução de custos e a mitigação dos impactos

ambientais, promovendo uma produção mais eficiente e sustentável na indústria de papel e celulose.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de algumas observações são de André L. X. S. Soares.

Conflito de Interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 Feffer, Daniel, et al. Ibá Relatório Anual. 2023, <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>.
- 2 Ramos, R. D., Longue Junior, 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*, **34(3)**, 1-21. 2024.
- 3 A. F. G. Gouvêa, P. F. Trugilho, J. L. Colodette, J. T. Lima, J. R. M. da Silva, and J. L. Gomide, Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de Eucaliptos, *R. Árvore*, **33(6)**, 1175-1185. 2009.
- 4 KOLLMANN, F. F. P. Tecnología de la madera y sus aplicaciones, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, **11**, 1959.
- 5 C. J. Biermann, Handbook of Pulping and Papermaking, Academic Press, 1996.
G. A. Smook, Handbook for Pulp & Paper Technologists, *Angus Wilde Publications*, **3 edn.**, 2002.
- 6 H. F. Medeiros Neto, Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft, Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2012, **1**, 1-10.
- 7 D. R. S. Santos, Avaliação tecnológica de clones-elites de *Eucalyptus* spp., crescendo no Estado de Goiás: qualidade do lenho para produção de polpa celulósica Kraft, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2018, **3**, 3-6.
- 8 E. S. S. Segura, Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para produção de celulose kraft pelos processos convencional e LoSolids, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012, **2**, 45-70.
- 9 F. A. S. Duarte, Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2007, **7**, 15-50.
- 10 T. F. A. Wehr, Variações nas características da madeira de *E. grandis* Hill ex maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft, Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1991, **9**, 10-35.