

Efeito das condições de pré-hidrólise da madeira na polpa marrom de *Eucalyptus urophylla*

Vaniele Bento dos Santos¹; Duarte Miranda Neiva²; Maria Fernanda Vieira Rocha³;
Fernando José Borges Gomes⁴; Jorge Gominho²; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro/ES, Brasil; ²Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal; ³Bracell Bahia Florestal, Alagoinhas/BA, Brasil; ⁴Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil – vanielebento@hotmail.com

Resumo: A pré-hidrólise da madeira consiste na etapa de remoção das hemiceluloses antes da polpação kraft para produção de polpa solúvel. O seu desempenho pode ser controlado através do tempo e temperatura do processo. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da intensidade da pré-hidrólise da madeira na polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* para produção de polpa solúvel. Foram avaliadas cinco árvores aos 5 anos de idade, coletadas em Itanagra-BA, Brasil. Pré-tratamentos hidrotérmicos foram aplicados nos cavacos de madeira sob diferentes condições de tempo e temperatura (fator-P). Posteriormente, realizou-se a polpação kraft e avaliaram-se os parâmetros da polpa. Com o aumento da severidade do processo de pré-hidrólise da madeira houve uma redução do número Kappa e da viscosidade da polpa, e um aumento de até 8,5% do brilho da polpa marrom de eucalipto. Isto indica a eficiência das condições do processo de pré-hidrólise adotadas visando a produção de polpa solúvel.

Palavras-chave: Polpa solúvel, Número Kappa, Viscosidade, Alvura.

Effect of wood pre-hydrolysis conditions on the brown pulp of *Eucalyptus urophylla*

Abstract: Wood pre-hydrolysis consists of the step of removing hemicelluloses before kraft pulping to produce dissolving pulp. Its performance can be controlled through process time and temperature. The study aimed to evaluate the effect of the intensity of wood pre-hydrolysis on the brown pulp of *Eucalyptus urophylla* for the production of dissolving pulp. Five trees were evaluated at 5 years of age, collected in Itanagra-BA, Brazil. Hydrothermal pretreatments were applied to wood chips under different time and temperature conditions (P-factor). Subsequently, we realized kraft pulping, and the pulp parameters were evaluated. With the increase in the severity of the wood pre-hydrolysis process, there was a reduction in the Kappa number and pulp viscosity, and an increase of up to 8.5% in the brightness of the brown eucalyptus pulp. This indicates the efficiency of pre-hydrolysis process conditions in dissolving pulp production processes.

Keywords: Dissolving pulp, Kappa number, Viscosity, Brightness.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel tem buscado constantemente processos mais eficientes para a produção de polpa de alta qualidade (Resende et al., 2019). Para produção de polpa solúvel, por exemplo, destaca-se o processo de pré-hidrólise kraft, que consiste em um processo combinado de condições ácidas (pré-hidrólise) e alcalinas (cozimento kraft), seguidas pelas etapas de branqueamento para atingir a pureza desejada da polpa (Sixta, 2006).

O pré-tratamento hidrotérmico aplicado à madeira de eucalipto antes do cozimento kraft é o processo mais utilizado na indústria de polpa solúvel (Leschinsky et al. 2009). A pré-hidrólise da madeira consiste na remoção e fragmentação das hemiceluloses da madeira por meio do tratamento com água (Garrote et al., 2001), com a finalidade de melhorar a pureza e a reatividade da celulose (Resende et al., 2019).

Estudos têm investigado os parâmetros ótimos de pré-hidrólise da madeira, como tempo e temperatura, para maximizar a eficiência do processo (Dong et al., 2020; Bergrath et al., 2023). Logo, compreender os efeitos da intensidade do processo de pré-hidrólise da madeira na qualidade da polpa produzida pelo processo kraft é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis na indústria de celulose e papel. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência das condições de pré-hidrólise kraft na polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade visando a produção de polpa solúvel.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e amostragem

Foram amostradas cinco árvores de um clone comercial de *Eucalyptus urophylla*, aos 5 anos de idade, no município de Itanagra, estado da Bahia, Brasil. A região avaliada apresenta clima tropical, com estação seca e verão chuvoso, sendo classificada como Aw pela classificação de Köppen. As árvores foram colhidas de acordo com o diâmetro médio das parcelas, considerando um desvio de 5% da média, definido pelo último inventário florestal. A cubagem rigorosa foi realizada pelo método de Smalian e a altura comercial foi definida com diâmetro mínimo de 6 cm com casca.

Para amostragem foram retiradas duas toras de 1 m de comprimento, uma basal e outra entre 50 e 75% da altura comercial. As amostras foram transformadas em cavacos, classificados em peneira de 10 x 10 mm e homogeneizadas para os tratamentos de pré-hidrólise e polpação kraft (Figura 1).

2.2 Tratamentos de pré-hidrólise da madeira

Os tratamentos hidrotérmicos foram realizados a partir dos parâmetros combinatórios de tempo e temperatura, no qual, o fator-P correspondente às diferentes condições de pré-hidrólise da madeira foi calculado conforme a equação (1) de Sixta (2006). Foram selecionados 5 pontos, com níveis leves, médios e intensos (Tabela 1).

$$\text{Fator - P} = \text{Exp} \left(40,48 - \frac{15106}{T} \right) * t \quad (1)$$

Onde: T = temperatura (Kelvin); t = tempo (horas).

Tabela 1. Fatores de severidade (fator-P) dos tratamentos de pré-hidrólise da madeira de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade.

Temperatura (Cº)	Tempo (minutos)	Fator-P
155	30	89
155	60	179
175	30	432
179	45	873
179	80	1552

As pré-hidrólises foram realizadas em micro digestores de aço de 100 mL com relação líquido/sólido de 10:1, com 70 mL de água destilada e 7 g de cavaco. Os recipientes foram inseridos no reator com a temperatura estabelecida e girados em banho de óleo até o tempo definido de cada pré-tratamento (Neiva et al., 2020). O sólido pré-tratado foi lavado e separado do licor, e o rendimento do processo foi calculado com base no material seco em estufa.

2.3 Polpação kraft

A polpação Kraft foi realizada em micro digestores de aço de 100 mL sob rotação em banho de óleo. As condições de cozimento foram: 5 g de cavaco,

proporção líquido/madeira de 5:1, 23% de álcali ativo, 25% de sulfureto, temperatura de 160 °C e 60 min. Após o cozimento, os micros digestores foram resfriados em banho de gelo até a temperatura ambiente. Os resíduos sólidos foram lavados, desfibrados e recuperados por filtração a vácuo. A polpa foi seca a 50 °C e armazenada para posteriormente ser analisada (Neiva et al., 2024).

2.4 Análise da polpa marrom

O rendimento da polpa pré-hidrólise kraft foi calculado com base nos rendimentos dos processos de pré-hidrólise da madeira e da polpação kraft. O número Kappa da polpa foi determinado de acordo com a norma da Tappi T 236 cm-85 (TAPPI, 1993). A viscosidade da polpa foi determinada utilizando cupriethylenediamine (CED), conforme descrito no método de teste SCAN-CM 15:88 (1988). E a alvura foi avaliada medindo o brilho da polpa (SCAN-CM 11:95 1995).

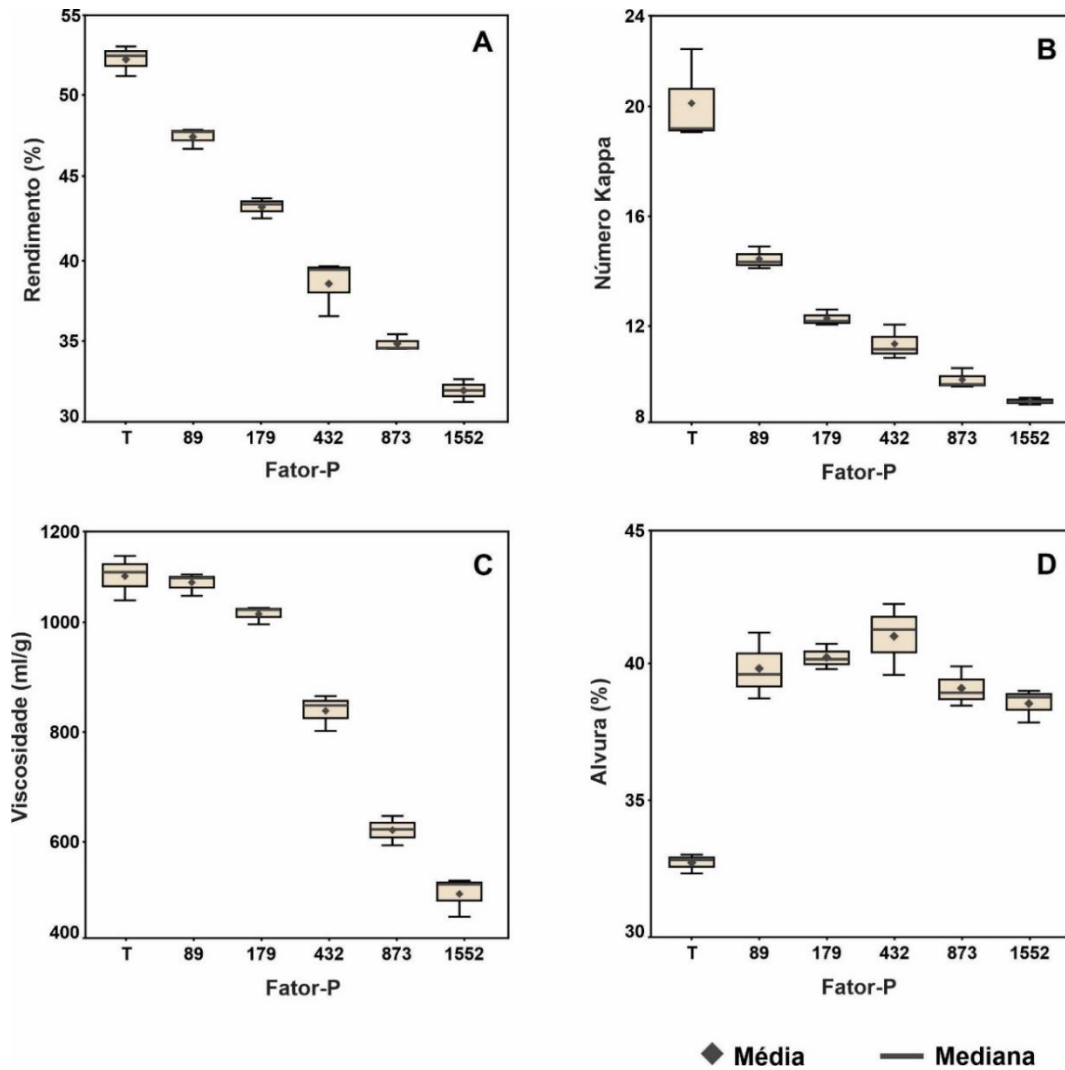
2.5 Análise estatística

Para verificar o efeito das condições de pré-hidrólise sob as variáveis analisadas da polpa marrom de *Eucalyptus urophylla*, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) por meio do teste F, e, quando necessário, o teste de Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que com o aumento da severidade do processo de pré-hidrólise da madeira (fator-P), houve uma redução do rendimento, do número Kappa e da viscosidade da polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade (Figura 2). Para o rendimento do processo de pré-hidrólise kraft foi observada uma perda de massa significativa de 3,9 a 19,8 % em relação à madeira não tratada (testemunha). E para o número Kappa e viscosidade da polpa houve uma redução significativa de 5,7 a 10,8 e 11 a 541 (ml/g), respectivamente (Tabela 2).

Figura 1. Variáveis analisadas da polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade sob diferentes condições de pré-hidrólise kraft.



Onde: T = Testemunha.

Fonte: Autores (2024).

Tabela 2. Valores médios das variáveis analisadas da polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade sob diferentes condições de pré-hidrólise kraft.

Fator-P	Rendimento (%)	Número Kappa	Viscosidade (ml/g)	Alvura (%)
Testemunha	52,0 a	20,1 a	1068 a	33,0 b
89	48,1 b	14,4 b	1057 a	40,0 a
179	43,9 c	12,3 c	1003 b	40,3 a
432	38,5 d	11,3 d	839 c	41,5 a
873	35,3 e	10,0 e	636 d	39,5 a
1552	32,2 f	9,3 e	527 e	39,0 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

Esta redução dos parâmetros da polpa de eucalipto está relacionada a solubilização dos compósitos lignocelulósicos da madeira que ocorre durante o processo de pré-hidrólise, principalmente das hemiceluloses (Perez et al., 2023; Utami et al., 2023), que é o principal objetivo quando visa a produção de polpa solúvel. Além disso, o aumento da severidade do processo de pré-hidrólise (fator-P) resulta na remoção de monômeros ligados à lignina menos condensados, com redução nas estruturas β -O-4 nas frações de lignina (Leschinsky et al. 2008), o que contribui para o processo de deslignificação da polpa, e diminuição do número Kappa.

Para a alvura da polpa marrom de *E. urophylla*, foi observado que o pré-tratamento hidrotérmico proporcionou aumento do brilho da polpa, de 6 a 8,5 % em relação à madeira não tratada (testemunha), e que entre os tratamentos não foi observado diferença estatística (Tabela 2). A melhora deste parâmetro é importante para a próxima etapa do branqueamento, já que, a maior alvura da polpa marrom contribui na redução do consumo de dióxido de cloro e na eficiência do processo de branqueamento da polpa celulósica (Batista et al., 2018).

Visando a produção de polpa solúvel de eucalipto, aumentar a severidade do fator-P durante o processo de pré-hidrólise da madeira contribui para a qualidade da polpa, já que o esperado são polpas com número kappa 9 ± 1 (dos Santos et al., 2016), e, a depender do produto final, viscosidade de 350 a 800 (ml/g), (Foelkel et al., 1978). Contudo, deve-se observar até qual ponto é viável, visto que o rendimento e a alvura da polpa podem reduzir com a intensidade do processo. Assim, os autores ressaltam a importância de analisar os componentes químicos da polpa, e posteriormente, o processo de branqueamento, para verificar a eficiência de todas as etapas para produção de polpa solúvel.

4. CONCLUSÃO

O processo de pré-hidrólise da madeira foi eficaz na redução do número Kappa e viscosidade da polpa marrom de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade, principalmente sob condições de fator-P mais elevado. Além disso, proporcionou maior alvura da polpa marrom, o que contribuirá significativamente para as próximas etapas de branqueamento da polpa. Assim, os resultados apresentam informações

valiosas para a indústria de celulose que visam a produção sustentável de polpa solúvel.

5. AGRADECIMENTOS

A parceria com a empresa Bracell Bahia Florestal; ao Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Laboratório Associado TERRA; a Cooperação CAPES/FAPES – Programa de Desenvolvimento de Pós-Graduação (PDPG); e ao apoio financeiro da FAPES (Edital FAPES nº 04/2022 PROAPEM).

6. REFERÊNCIAS

BATISTA, G.; SOUZA, R.B.A.; PRATO, B.; DOS SANTOS-ROCHA, M.S.R.; CRUZA, A.J.G. Effect of severity factor on the hydrothermal pretreatment of sugarcane straw. **Bioresource Technology**. 2019.

BERGRATH, J.; RUMPF, J.; BURGER, R.; TUNG DO, X.; WIRTZ, M.; SCHULZE, M. Beyond Yield Optimization: The Impact of Organosolv Process Parameters on Lignin Structure. **Macromol. Mater**. 2023.

DONG, Y.; JI, H.; DONG, C.; ZHU, W.; LONG, Z.; PANG, Z. Preparation of high-grade dissolving pulp from radiata pine. **Industrial Crops & Products**. 2020.

DOS SANTOS, R.; DE MELLO JÚNIOR, J.A.; CARASCHI, J.C.; VENTORIM, G.; PEREIRA, F. A. polpação kraft e kraft/aa da madeira pré-hidrolisada de híbrido de *Eucalyptus urophylla x grandis*. **Ciência Florestal**. 2016.

FOELKEL, C.E.B.; ZVÍNAKEVÍCIUS, C.; ANDRADE, M.J.O. Processo pré-hidrólise kraft para produção de celulose para dissolução a partir de eucalipto. **Belo Oriente: Cenibra**. 1978.

GARROTE, G.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J.C. Study on the deacetylation of hemicelluloses during the hydrothermal processing of *Eucalyptus* wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**. 2001.

LESCHINSKY, M.; SIXTA, H.; PATT, R. Detailed mass balances of the autohydrolysis of *Eucalyptus globulus* at 170 °C. **BioResources**. 2009.

LESCHINSKY, M.; ZUCKERSTÄTTER, G.; WEBER, H.; PATT, R.; SIXTA, H. Effect of autohydrolysis of *Eucalyptus globulus* wood on lignin structure. Part 2: Influence of autohydrolysis intensity. **Holzforschung**. 2008.

NEIVA, D. M.; COSTA, R. A.; GOMINHO, J.; FERREIRA-DIAS, S.; PEREIRA, H. Fractionation and valorization of industrial bark residues by autohydrolysis and enzymatic saccharification. **Bioresource Technology Reports**. 2020.

NEIVA, D. M.; GODINHO, M.C.; SIMÕES, R. M. S.; GOMINHO, J. Encouraging Invasive Acacia Control Strategies by Repurposing Their Wood Biomass Waste for Pulp and Paper Production. **Forests**. 2024.

PÉREZ, A.O.; RIGUAL, V.; DOMÍNGUEZ, J.C.; ALONSO, M.A.; OLIET, M.; RODRIGUEZ, F. Effect of autohydrolysis and ionosolv treatments on eucalyptus fractionation and recovered lignin properties. **RSC Advances**. 2023.

RESENDE, J.O.; COLODETTE, J.L.; ANDRADE, M.F. Estudo de localização da extração alcalina a frio (CCE) numa sequência de branqueamento de polpa solúvel de eucalipto. **Scientia Forestalis**. 2019.

SCAN – Scandinavian Pulp, Paper, and Board. **Preparation of laboratory sheets for measuring ISO brightness**. Scan-CM 11:95. Stockholm, Sweden. 1995.

SCAN – Scandinavian Pulp, Paper, and Board. **Viscosity in cupri-ethylenediamine**. Scan-CM 15:88. Stockholm, Sweden. 1988.

SIXTA, H. **Handbook of Pulp**. Weinheim, Germany, WILEY-VCH. Vol 1. 2006.
TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **Kappa Number of Pulp**. TAPPI T236 cm-85. 1993.

UTAMI, S.P.; SARI, E.O.; CHEM, M.; OHI, H.; NAKAGAWA-IZUMI, A. Isolation of cellulose and lignin from *Acacia crassicarpa* and *Eucalyptus pellita* wood by prehydrolysis soda cooking with 2-methylantraquinone as a green additive. **Wood Science and Technology**. 2023.