

Boletim

TÉCNICO SIF

Número 09 - Volume 01
Novembro 2021

***INSERÇÃO TECNOLÓGICA DOS CLONES
HÍBRIDOS DE *Corymbia* SPP.
NA PRODUÇÃO DE POLPA
CELULÓSICA – PARTE 2:
BRANQUEAMENTO
DA POLPA CELULÓSICA***

Marcelo Moreira da Costa et. al.

INSERÇÃO TECNOLÓGICA DOS CLONES HÍBRIDOS DE *CORYMBIA* SPP. NA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA – PARTE 2: BRANQUEAMENTO DA POLPA CELULÓSICA

Marcelo Moreira da Costa^{2*}, Gleison Augusto dos Santos², Wesley Henrique Martins da Silva³, Larissa Soares Silva³, Ricardo de Carvalho Bittencourt⁴, Benone Magalhães Braga⁵, Lilian Alves Carvalho Reis⁵ e Claudilene Aparecida Alves Pena⁵

² Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <mmcd@ufv.br> e <gleison@ufv.br>.

³ Universidade Federal de Viçosa, Graduando em Engenharia Florestal, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <wesley.silva@ufv.br> , <larissa.s.silva@ufv.br> e <ricardo.bittencourt@ufv.br> .

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <ricardo.bittencourt@ufv.br> .

⁵ Aperam BioEnergia, Gerência Técnica Florestal Capelinha, MG - Brasil. E-mail: <lilian.reis@aperam.com> , <claudilene.pena@aperam.com> e <benone.pena@aperam.com> .

*Corresponding author.

RESUMO – *Os trabalhos de inovação florestal voltados a qualidade da madeira focam o incremento da performance da indústria produtora de celulose e papel. Como principal finalidade busca-se cada vez mais redução dos custos operacionais, tanto por redução do consumo específico de madeira (CE_{Mad}), quanto pelos custos dos produtos químicos de branqueamento. Na primeira parte deste estudo foram ranqueados os top 6 clones, entre 16 clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., quanto aos parâmetros da interface floresta indústria entre o CE_{Mad} . O presente trabalho, visa avaliar o desempenho das amostras de polpa Kraft dos 6 clones escolhidos no processo de branqueamento da produzida a partir de seis diferentes clones desenvolvidos pela empresa Aperam BioEnergia LTDA. Para mensurar a qualidade do produto final, ainda foram realizadas as análises de viscosidade intrínseca, alvura da polpa e caracterização química das amostras. O híbrido ID 3, *Corymbia ciriodora* x *Corymbia torelliana*, apresentou o maior destaque positivo entre os parâmetros avaliados, sendo eles a alvura (93,0% ISO), eficiência na etapa de branqueamento com oxigênio (54,8%), relação S/G (3,62) e teor final de Xilanas 16,4%. A amostra ID 3, *Corymbia ciriodora* x *Corymbia torelliana*, apresentou a maior viscosidade intrínseca final (912,5 dm³/Kg)*

Palavras-Chave: Super Clones; Corymbia x Eucalyptus; Branqueamento; Cash Cost.



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o procedimento mais trabalhado para individualizar as fibras de celulose da madeira, pelas grandes produtoras, é conhecido como processo kraft. Com o passar dos anos, foram realizadas algumas melhorias neste processo, com objetivo de minimizar os custos e atingir um produto final de melhor qualidade. Neste contexto, cita-se as tecnologias Lo-Solids e também a tecnologia Compact Cooking (Domingues, Biasotto et al. 2019). Para a produção de diferentes tipos de papeis, como por exemplo, papéis para imprimir e escrever, as etapas seguintes englobam procedimentos para branquear a polpa marrom.

Devido à diversas controversas, e estudos baseados em análises filogenéticas, morfológicas e moleculares, formou-se o novo gênero, denominado *Corymbia*, no qual foram incluídas 113 espécies, antes denominadas *Eucalyptus*. Os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, são originários da Austrália, contidos na família Myrtaceae, e possuem madeira com características diferenciadas (Hall, Johnston et al. 1970). A espécie *Corymbia citriodora* (Hook) K. D. HILL & L. A. S. JOHNSON, antes conhecida como *Eucalyptus citriodora*, apresenta porte intermediário, podendo atingir aproximadamente 50 metros de altura (Boland, Brooker et al. 2006).

Em virtude à qualidade da madeira, frente a produção de polpa celulósica e papel, a investigação de seus constituintes químicos se faz necessária, pois afetam diretamente a eficiência e economia do processo (de Carvalho, da Silva et al. 2014). Trabalhos prévios realizados com espécies de *Corymbia* spp., destacam o baixo teor de lignina para este gênero, variando entre 19 e 24% para *C. citriodora*. Além disso, é possível observar um incremento de 8% nos teores hemiceluloses em comparativo ao *Eucalyptus grandis* (Pinto, Machado et al. 2016).

Para os materiais de *Corymbia*, foi observado uma eficiência na deslignificação com oxigênio superior a 75%, e redução de 52% no número kappa. Devido a melhor deslignificação em relação à polpa de EUG, estas puderam ser submetidas a condições mais brandas de deslignificação no branqueamento, com redução de tempo, temperatura e reagentes. (Segura 2015).

O presente estudo, tem como principal objetivo a avaliação do desempenho de seis diferentes clones

de espécies fibrosas, no processo de branqueamento da polpa kraft, desenvolvidos pela empresa Aperam BioEnergia LTDA.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Procedimentos analíticos

No trabalho prévio (Costa et al. 2021), foram produzidas as polpas marrons de 16 diferentes amostras pela polpação kraft Lo-Solids. Neste estudo, seguindo para as etapas de branqueamento, foram utilizadas as 6 melhores matérias-primas, ranqueadas em virtude dos principais parâmetros da interface floresta-indústria (relação IMA_{cel} / CE_{Mad}).

Para realização da caracterização química das diferentes amostras, foram utilizados os procedimentos e normas descritos na Tabela 1.

2.2. Processo de branqueamento da polpa celulósica

Após o processo kraft modificado Lo-Solids, e ranqueamento das amostras, as polpas marrons foram destinadas à primeira etapa de branqueamento, com uso de oxigênio. Realizada a aplicação do oxigênio, a polpa celulósica seguiu para as demais etapas de branqueamento, sendo elas: Deslignificação com dióxido de cloro à quente (D/A); extração alcalina com oxigênio e peróxido de hidrogênio (EP); branqueamento com dióxido de cloro (D₁); e branqueamento com peróxido de hidrogênio (P), estão descritas na Tabela 2.

Por fim, foram realizadas as análises caracterização química da serragem da madeira e da polpa branqueada, assim como a viscosidade intrínseca e alvura, para mensuração da qualidade do produto final.

Tabela 1 – Análises realizadas para caracterização química das diferentes amostras.

Parâmetros	Procedimentos
Extrativos totais	TAPPI T 264 cm-97
Lignina insolúvel	EFFLAND (1977)
Lignina solúvel	TAPPI UM 250
Hidrólise ácida	TAPPI T 249 cm-85
Composição de carboidratos	WALLIS et al. (1996)
Ácidos urônicos	SCOTT (1979)
Relação S/G da lignina	LIN & DENCE (1992)
Alvura	TAPPI T452 om-99
Número kappa	TAPPI T236 cm-85
Viscosidade	TAPPI T230 cm-89
Número de permanganato	CPPA G-17H

Tabela 2 – Branqueamento ECF aplicado na polpa marrom.

Estágio	O/O	D/A	EP	D ₁	P
Consistência, %	12	12	12	12	12
Tempo, min	15/90	120	90	90	90
Temperatura, °C	15/100	90	80	80	80
Fator kappa	1,3	0,16	-	-	-
ClO ₂ , kg/tsa	-	[2]	-	[2]	-
O ₂ , kg/tsa	17,65 ^[1]	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	-	4	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tsa	-	8,1	-	-	-
MgSO ₄ , kg/tsa	3	-	-	-	-
NaOH, kg/tsa	22,01 ^[1]	-	7	-	4

^[1] Valor Médio para as amostras.

^[2] Carga de ClO₂ (kg/t) variou entre as 6 diferentes amostras.

3. RESULTADOS

3.1. Polpação kraft Lo-solids - Ranking das amostras

Foram selecionados dois híbridos de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*, e os demais clones são representados pelo gênero *Eucalyptus* spp. A identificação das amostras, enviadas pela empresa Aperam BioEnergia LTDA, estão descritas na Tabela 3.

De acordo com a Tabela 3, o Clone 4 apresentou melhor valor no ranking, devido ao maior IMA_{Cel}, com o mais baixo CE_{Mad}, sendo este considerado um super clone.

3.2. Caracterização química da madeira

O comparativo dos teores de carboidratos e lignina, presentes na serragem produzida a partir dos cavacos das diferentes amostras, está representado no figura 1.

Tabela 3 – Ranqueamento das amostras e suas respectivas identificação.

ID	Nº da amostra (m ³ _{Mad} .tsa ⁻¹) ^[1]	CE _{Mad} (tsa.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) ^[1]	IMA _{Cel}	Ranking ^[2]
<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	3	3,3	15,6	4,7
<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	4	2,7	24,6	9,0
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	5	3,1	14,8	4,8
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> spp.	8	3,4	17,5	5,1
(<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>) x <i>E. urophylla</i>	13	3,6	14,8	4,1
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus pellita</i>	16	3,7	14,7	4,0

^[1] Valores de IMA_{Cel} e CE_{Mad} baseados em polpa marrom;

^[2] Ranqueamento foi estabelecido pela relação entre IMA_{Cel}/CE_{Mad}

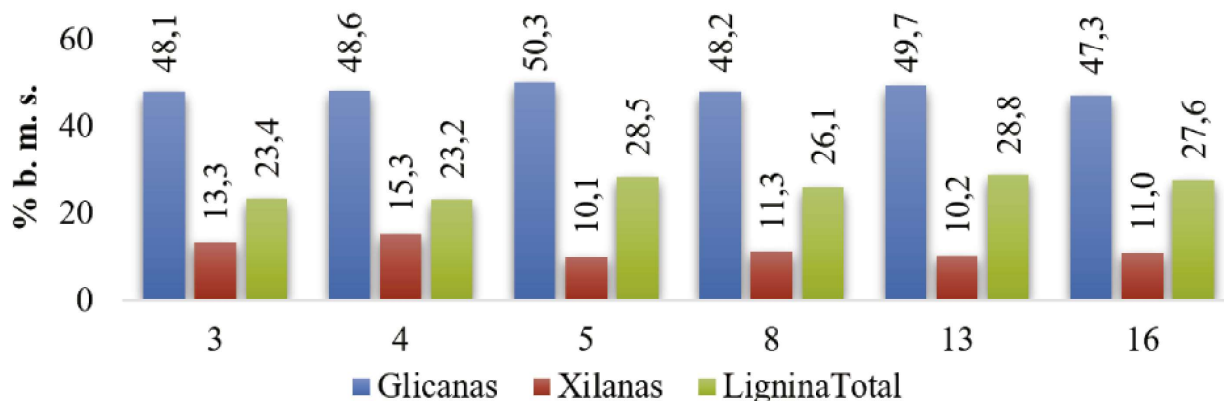


Figura 1 – Análise de carboidratos e lignina total da serragem.

Tabela 4 – Determinação dos principais componentes químicos da madeira.

ID	Lignina Solúvel (%)	Lignina Insolúvel (%)	RelaçãoS/G	Ácidos Urônicos (%)	Extraíveis em Acetona (%)
3	2,8	20,7	3,62	5,57	1,11
4	2,9	20,3	2,70	5,15	1,24
5	2,1	26,4	2,09	5,29	2,92
8	2,4	23,7	2,49	5,21	2,41
13	2,5	26,3	2,65	5,22	1,62
16	1,8	25,8	1,97	5,25	0,95

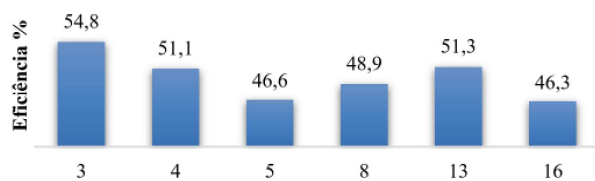
Os teores de Xilanas dos híbridos de *Corymbia* spp. se mostraram superiores, enquanto os teores de lignina total foram os menores, em relação aos clones de *Eucalyptus* spp. Para a produção de celulose de mercado, amostras com teores baixos de lignina, tendem a demandar por uma baixa quantidade de reagentes químicos para deslignificar o material durante o processo kraft. Outro importante parâmetro avaliado, é a relação siringil/guaiacil (S/G) da lignina, sendo esta apresentada na Tabela 4.

Os clones de *Corymbia* spp. apresentaram os menores valores de lignina insolúvel e os maiores teores de lignina solúvel. As ligninas do tipo S (Siringila) são removidas mais facilmente na polpação, por apresentarem sítios ativos disponíveis. Já nas ligninas do tipo G (Guaiacila), ocorre o inverso, sendo esta uma lignina mais condensada e mais difícil de ser clivada durante o processo de produção da polpa celulósica.

Os ácidos urônicos (4-O-Metil-Glicurônico) são convertidos em ácidos hexenurônicos (HexA's) durante o processo de polpação, sendo responsáveis pelo rendimento, e protegendo os carboidratos. Por outro lado, esses grupos consomem reagentes no branqueamento (Costa, Fonseca et al.). Valores médios de extrativos encontrados na literatura para folhosas são de 1,9 - 4,9% (Klock, Muñoz et al. 2005).

3.3. Branqueamento da polpa marrom

Seguindo para a primeira etapa de branqueamento da polpa marrom, o comparativo da eficiência do processo para as amostras é apresentado no figura 2.

**Figura 2** – Eficiência de deslignificação do branqueamento com oxigênio dos clones avaliados.

Neste parâmetro, destaca-se a amostra ID 3, na qual obteve a maior eficiência durante esta etapa do processo. A eficiência (%) é calculada a partir da relação entre a variação do número kappa, e seu valor inicial. Durante o branqueamento ECF, é importante avaliarmos principalmente a alvura da polpa celulósica no processo, apresentados no figura 3.

Neste contexto, destaca-se mais uma vez a amostra ID 3, por apresentar a maior alvura % ISO nas etapas D₁ e P do processo branqueamento da polpa celulósica, quando comparada às demais amostras.

3.4. Viscosidade Intrínseca da polpa celulósica

Outro parâmetro na avaliação da qualidade do produto final nas indústrias produtoras de celulose e papel, é a viscosidade da polpa, apresentada no figura 4.

Os híbridos de *Corymbia* spp. (ID3 e ID4) concluíram todo processo de branqueamento da polpa marrom com viscosidade superior aos híbridos de *Eucalyptus* spp. Quanto maiores os valores de viscosidade, menor a degradação dos carboidratos durante todo o processo de produção, o que pode influenciar de maneira positiva na resistência físico-mecânica do papel.

3.5. Análise de carboidratos da polpa branqueada

Por fim, na Tabela 5, é apresentado o teor de carboidratos encontrados na polpa branqueada das seis diferentes amostras.

Os híbridos de *Corymbia* spp. se destacaram por apresentar os maiores teores de xilanas. O clone de *Eucalyptus* spp., ID 5, se destacou positivamente por apresentar o maior teor de glicanas, quando comparado às demais amostras. O maior conteúdo de xilanas na polpa branqueada podem impactar, positivamente a refinabilidade e as propriedades de resistências físico-mecânicas do papel produzido.

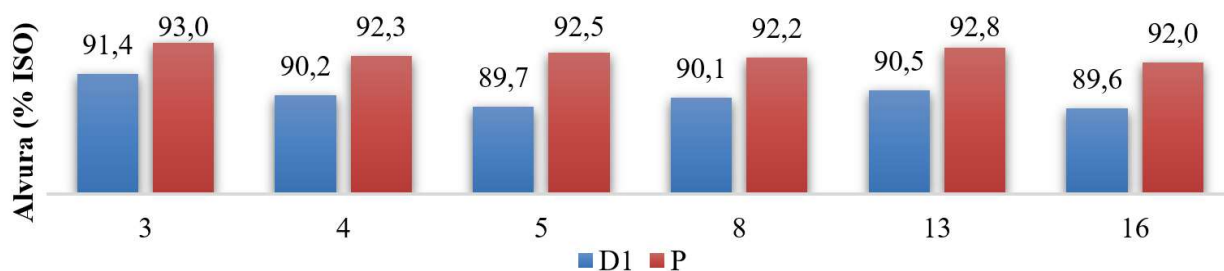


Figura 3 – Análise de alvura das polpas após o branqueamento ECF dos clones avaliados.

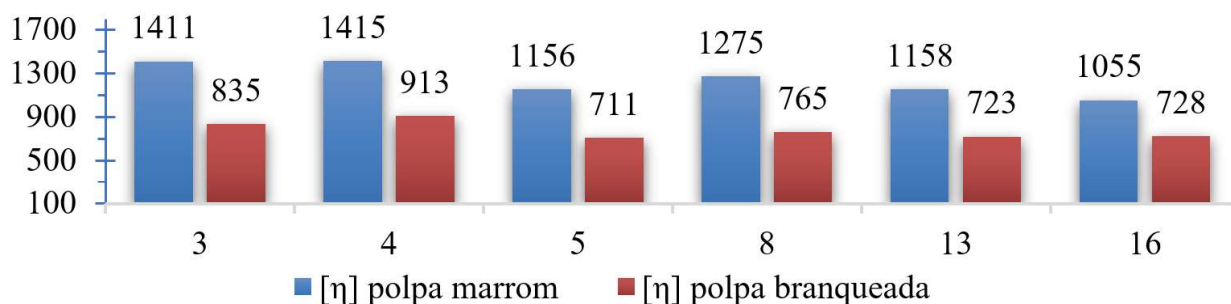


Figura 4 – Viscosidade Intrínseca ([η] = dm³/Kg) da polpa marrom e branqueada.

Tabela 5 – Comparativo do teor de carboidratos entre as diferentes amostras de polpa branqueada ⁽¹⁾.

ID	Galactanas	Glicanas	Xilanas
3	0,3	89,0	15,5
4	0,2	78,6	16,4
5	0,3	93,3	12,1
8	0,3	83,5	12,6
13	0,3	85,3	11,4

⁽¹⁾ Os valores de arabinanas e de mananas apresentaram resultados abaixo do limite de detecção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os híbridos de *Corymbia* spp. apresentam grande potencial para produção de polpa branqueada de mercado. Os clones mostraram alta produtividade florestal vinculada a alta performance no processo de polpação e de branqueamento, sendo superiores às madeiras de *Eucalyptus* spp. aos 6,5 anos de idade, avaliadas neste trabalho. O clone 4 apresentou melhor posição no ranking mostrando ser um super clone, quanto aos parâmetros IMA_{Cel} e CE_{Mad}.

A amostra ID 3, *Corymbia ciriodora* x *Corymbia torelliana*, apresentou o maior destaque positivo na performance de processo do branqueamento ECF. Os principais parâmetros avaliados foram teto de alvura, eficiência da deslignificação com oxigênio e teor de xilanas na polpa branqueada. O Clone ID 3 apresentou

a maior relação siringila e guaiacila (S/G) que ajuda a explicar sua melhor performance de processo.

Os maiores valores de viscosidade intrínseca da polpa marrom e branqueada foram atribuídos aos híbridos de *Corymbia* spp. (ID 3 e 4).

5. REFERÊNCIAS

IBÁ. Relatório 2020. Indústria Brasileira de Árvores; 2020.

Domingues A, Biasotto R, Fonseca C, Rodrigues D. REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA COMPACTCOOKING™. O PAPEL. 2019;80(08):83-90.

Hall N, Johnston RD, Chippendale GM. Forest trees of Australia. Forest trees of Australia. 1970(3rd. ed.).

Boland DJ, Brooker MIH, Chippendale GM, Hall N, Hyland BPM, Johnston RD, et al. Forest trees of Australia: CSIRO publishing; 2006.

de Carvalho DM, da Silva MR, Colodette JL. Wood quality effect on Kraft pulping performance. Ciência Florestal. 2014;24(3):677-84.

Pinto EM, Machado GO, Felipetto RPF, Christoforo

AL, Lahr FAR, Calil Jr C. Thermal degradation and charring rate of and wood species. *The Open Construction & Building Technology Journal*. 2016;10(1).

Costa MM, Fonseca MJO, Pimenta DL, Colodette JL, editors. Branqueamento ECF de baixo investimento para a produção de 1 milhão adt/ano na

CENIBRA2000: CIADICYP Iguazu.

Klock U, Muñiz GIBd, Hernandez JA, Andrade ASd. *Química da madeira*. Fupef, Curitiba. 2005.

Segura, T. E. S. (2015). “Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada.”