

INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE E RENDIMENTO DE POLPA CELULÓSICA DE EUCALIPTO DEVIDO AO USO MÚLTIPLO DA MADEIRA

Alexandre Monteiro de Carvalho¹, Marcio Augusto Rabelo Nahuz²

(Recebido: 20 de fevereiro de 2002; aceito: 22 de novembro de 2004)

RESUMO: Um plantio do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 7 anos de idade, implantado na região de Mogi-Guaçu, SP, foi avaliado segundo uma simulação de uso múltiplo da madeira, em que uma parte da matéria-prima produzida no campo foi destinada à indústria de madeira serrada. Foram comparados a qualidade e o rendimento da celulose produzida em escala de laboratório de três porções da madeira do plantio. No tratamento 1 foi avaliada a celulose produzida a partir de toda a madeira do fuste das árvores, da base até altura comercial (aproximadamente 4 cm de diâmetro); o tratamento 2 utilizou apenas a primeira porção do fuste, base até 4 metros de altura, parte da madeira que, em uma situação de uso múltiplo, seria destinada à produção de madeira serrada; por fim, o Tratamento 3 avaliou a porção da madeira existente acima de 4 metros de altura dos fustes das árvores. O objetivo do trabalho foi avaliar possíveis interferências do uso múltiplo da madeira no rendimento e qualidade da celulose. Os resultados encontrados demonstraram que a retirada das toras mais vigorosas das árvores não prejudicou significativamente a qualidade e rendimento da celulose.

Palavras-chave: celulose, eucalipto, híbrido, uso múltiplo.

INTERFERENCE IN THE EUCALYPTUS PULP QUALITY AND YIELD DUE TO WOOD MULTIPLE USE

ABSTRACT: A 7-year plantation of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid established in the vicinity of Mogi-Guaçu/SP was evaluated, according to a simulation of multiple use of the wood. Part of the raw material produced was sent to sawn wood industry. The quality and yield of the cellulose produced in laboratory of three wood portions of the plantation was compared. In Treatment 1, the cellulose produced from the whole wood of the trees was evaluated; in Treatment 2 only the first portion of the tree was used, from wood of the soil base up to 4m height, wood that would be destined to sawnwood in a multiple use situation; finally, Treatment 3 evaluated the portion of the wood above 4 m of height. The possible interferences of multiple use of the wood in the yield and quality of the cellulose were evaluated. The results demonstrated that the retreat of the most vigorous logs of the trees didn't harm the quality and yield of the cellulose.

Key-words: cellulose, *Eucalyptus*, hybrid, multiple uses.

¹ Doutorando no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM, USP/ São Carlos. LaMEM – USP/S.C., Av. Trabalhador Sancarlenense, 400, 13566-590, São Carlos/SP. almcarva@sc.usp.br

² Pesquisador da Divisão de Produtos Florestais - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. End: IPT - Cid. Universitária Armando de Salles Oliveira, São Paulo/SP, 05508-901. mnahuz@ipt.br

1 INTRODUÇÃO

Já na década de 1970 uma série de trabalhos destacava a importância das espécies do gênero *Eucalyptus* entre as principais matérias-primas fornecedoras de fibras para a indústria de celulose e papel (Barrichelo et al., 1975). Daquela época para os tempos atuais esta posição se concretizou no Brasil, onde a adaptação silvicultural do eucalipto foi muito bem sucedida. Dentre as espécies plantadas no país, o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus saligna*, o *Eucalyptus urophylla* e seus híbridos tornaram-se a base da cultura florestal de fibra curta na indústria de celulose.

Estas indústrias, timidamente, estão desenvolvendo iniciativas de aliar a produção de celulose a outros setores, como o de produtos a base de madeira serrada. As primeiras atividades colocadas em prática nesse sentido utilizaram a madeira de *Pinus*, comercialmente ainda com melhor aceitação no segmento de serraria, e de grande utilização na indústria de celulose de fibra longa. Com as espécies do gênero *Eucalyptus*, os estudos estão surgindo ano a ano, em maior escala, tendo em vista os indicativos da garantia de benefícios: “o preço de mercado da madeira para serraria pode chegar a ser quatro vezes superior ao preço da madeira utilizada como matéria-prima na produção de polpa de celulose” (Santos, 1994).

Couto (1995) comenta que, em um sistema de uso múltiplo, pode-se priorizar a produção de madeira para celulose, carvão e painéis e os demais produtos de serraria seriam secundários; este processo valoriza a matéria-prima produzida, utilizando diferentes mercados para colocação dos produtos finais. Pode-se ainda otimizar a produção dos plantios por meio de um manejo adequado, para que se possa aliar dois diferentes segmentos consumidores (serrarias e indústrias de celulose e papel).

Este trabalho teve como objetivo avaliar possíveis interferências do uso múltiplo da madeira no rendimento e qualidade da celulose de eucalipto. Foram comparadas situações em que a madeira foi integralmente utilizada para a produção de celulose e outra em que uma parte do fuste das árvores foi retirada e aproveitada como madeira serrada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Foi utilizado no estudo um plantio do híbrido entre o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, implantado por clonagem, com espaçamento de 3,5 m x 1,7 m, na região de Mogi-Guaçu, SP. Na época da amostragem e coleta de material, o plantio se encontrava com 7 anos de idade.

2.2 Métodos

Dentro de um plantio comercial, implantado para atender à indústria de celulose, foi aleatoriamente alocada uma parcela quadrada de 1 hectare (100 m x 100 m). A área foi demarcada com uso de tinta branca nas árvores das linhas laterais da parcela.

De acordo com o conceito de uso múltiplo, proposto pelo trabalho, foi demarcada toda a porção da madeira que apresentava diâmetro superior ou igual a 20 cm na base da árvore, e superior ou igual a 12 cm a uma altura de 4 metros a partir da base. Esta seleção foi feita com o uso de um gabarito construído com canos de PVC, esquematizado na Figura 1.

A porção selecionada para serraria foi chamada de região I e a parte da madeira que continuou sendo direcionada para a produção de celulose foi chamada de região II.

A região I da madeira foi processada nas instalações do Instituto de Pesquisas

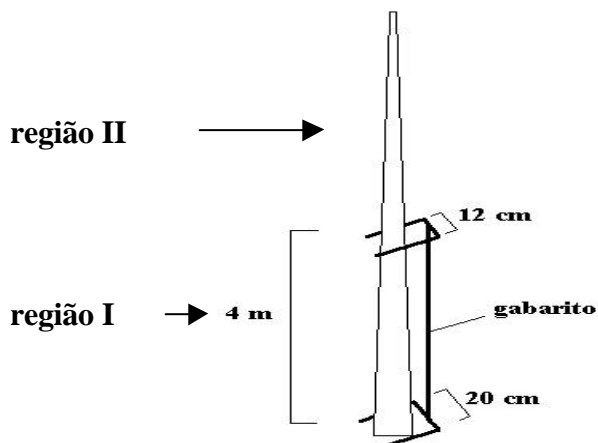


Figura 1. Seleção da porção mais vigorosa da madeira

Figure 1. Selection of the most vigorous wood fraction

Tecnológicas (IPT), em São Paulo, SP, pelo sistema de desdobro em serra múltipla com quadro cheio, ou seja, por meio de cortes paralelos simultâneos foram produzidas tábuas com 2,7 mm de espessura. O rendimento em madeira serrada foi obtido pelo volume inicial com casca das toras em relação ao volume final em tábuas, antes e após um período de secagem ao ar livre de 120 dias.

Para a avaliação das variáveis do processo de produção de celulose e da interferência da não utilização da região I foram considerados três tratamentos.

No tratamento 1 foram produzidos cavacos a partir da amostragem de dez árvores, que compuseram uma amostra composta para o tratamento. Todo o fuste das árvores foi transformado em cavacos. Assim, neste tratamento, a madeira da região I e II foi utilizada conjuntamente, seguindo o objetivo original de utilização do plantio.

No tratamento 2 foram utilizados cavacos produzidos a partir da região I, destinada à serraria, correspondente às primeiras toras (0 a 4 m), retiradas de uma segunda amostra composta de dez árvores. Na

proposta do uso múltiplo este material não seria utilizado na produção de celulose, porém, foi testado para efeito de comparação com os demais tratamentos.

Finalmente, no tratamento 3 foram utilizados cavacos da região II, extraídos de uma terceira amostra composta de dez árvores. Foi utilizada a parte destinada exclusivamente à produção de celulose na hipótese do uso múltiplo.

A amostragem dos cavacos seguiu o procedimento descrito em Barrichelo & Brito (1978) e em Foelkel (1977). Foram retirados cinco toretes de 30 cm da parte do fuste amostrada e produzidos os cavacos em picador de disco móvel, Morbark, de fabricação norte-americana.

Nos três tratamentos foram realizados ensaios de densidade básica, pelo método do máximo teor de umidade detalhado em Barrichelo (1975). O teor de extrativos das amostras dos tratamentos foi determinado de acordo com as normas técnicas da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), M3/69, M4/68 e M6/68 (ABTCP, 1974). Os ensaios de teor de lignina seguiram

procedimentos da norma ABTCP M70/71 (ABTCP, 1974) e a porcentagem de holocelulose foi determinada por diferença a partir dos teores de extrativos e lignina, conforme a expressão:

$$\% \text{ holocelulo se} = 100 - \% \text{ lignina} - \% \text{ extrativos totais}$$

Para análise das dimensões das fibras foram realizadas a maceração dos cavacos e a dissociação das fibras através do processo nítrico-acético, conforme descrito em Barrichelo & Foelkel (1983). Ao todo foram mensuradas cem fibras, por meio de técnicas de projeção e microscopia. Foram registrados o comprimento, a largura e o diâmetro do lúmen. A espessura da parede foi calculada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmen, dividida por dois.

Por meio das relações entre as dimensões das fibras foram calculados os seguintes índices:

- Índice de Runkel (2 EP/DL);
 - Fração parede (2 EP/L x 100);
 - Índice de enfiamento (C/L x 1000);
 - Coeficiente de flexibilidade (DL/L x 100);
- sendo que:

EP = espessura da parede;

DL = diâmetro do lúmen;

C = comprimento;

L = largura (ou diâmetro da fibra)

As determinações de rendimento bruto e depurado de cozimento em escala de laboratório, e teor de rejeitos, seguiram metodologias utilizadas pelo Laboratório de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP (LQCE). Os ensaios de número kappa (lignina residual na polpa) foram orientados pela norma ABNT-NBR 7537/MB 874 (ABNT, 1997). A determinação da viscosidade seguiu procedimentos da norma ABNT-NBR 7730/MB 1664 (ABNT, 1998).

Foram realizados, no total, três cozimentos kraft (licor: $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$),

sendo um para cada tratamento. Para cada amostra de cavacos foram utilizadas quatro formulações diferentes com relação ao álcali ativo no licor de cozimento (com duas repetições cada). Cada um dos ensaios foi realizado utilizando oito cápsulas de aço inoxidável que individualizaram cada amostra e cada repetição.

As condições empregadas nos três cozimentos realizados foram as seguintes:

- % álcali ativo (Na_2O).....12%-13%-14%-15% (2 repetições = 8 cápsulas/cozimento)
- sulfidez..... 25%
- temperatura máxima170°C
- tempo de aquecimento 90 min
- tempo à temperatura máxima..... 60 min
- relação licor / madeira4:1

Os resultados encontrados foram avaliados estatisticamente por meio de análises de variância a 5% de significância e testes de Tukey de comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade básica da madeira

A Tabela 1 apresenta a análise de variância realizada a partir dos resultados de densidade básica. Na Tabela 2 encontram-se valores médios para cada tratamento e os resultados do teste de comparação de médias de Tukey.

Os valores de densidade básica encontrados foram bastante próximos nos três tratamentos. Mesmo assim, o Tratamento 1 mostrou média estatisticamente inferior.

A densidade básica é um dos mais utilizados parâmetros de qualidade da madeira e tem alta correlação com o rendimento na produção de celulose; os valores próximos a 0,500 g/cm³ estão dentro de uma conhecida faixa ótima na produção de celulose de fibra

curta de eucalipto, que fica em torno de 0,450 a 0,550 g/cm³ (Barrichelo et al., 1975).

Os resultados foram próximos do que se pode esperar de um híbrido entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla*, sendo que o primeiro possui densidade básica geralmente inferior ao *Eucalyptus urophylla* (em torno de 0,490g/cm³). O que se objetiva deste cruzamento é um bom crescimento no campo, característica do *Eucalyptus grandis* e uma ligeira elevação na densidade aliada às

melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose produzida, trazidas pelo *Eucalyptus urophylla*.

Com relação à variação da densidade básica no sentido longitudinal da árvore, o que se observou em trabalhos anteriores, em várias espécies, foi que densidade é ligeiramente maior na base da árvore, diminuindo no DAP e crescendo novamente a partir deste ponto (Barrichelo & Brito, 1984 e Shimoyama & Barrichelo, 1991).

Tabela 1. Análise de variância para os resultados de densidade básica

Table 1. Variance analysis for the results of specific gravity

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	0,0004245	0,0002122	20,04	0,00290*
Resíduo	6	0,0000635	0,0000106		
Total	8	0,0004880			

n.s. = não significativo

* significativo a 95% de probabilidade

Tabela 2. Teste de Tukey para as médias de densidade básica

Table 2. Tukey test for the averages of specific gravity

Fonte de Variação: Tratamento	Número de repetições	Dens. básica média (g/cm ³)	5% *
1 (mad. para celulose + mad. para serraria)	3	0,496	a
2 (mad. para serraria)	3	0,508	b
3 (mad. para celulose)	3	0,513	b

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

3.2 Rendimento em madeira serrada da região I

A madeira extraída para processamento em serraria produziu os rendimentos e dimensões apresentados na Tabela 3.

Rendimentos em madeira serrada acima de 50% são relatados em trabalhos com eucalipto com diâmetros acima de 40 cm. Del Menezzi (1999) encontrou uma média de 51,2% estudando o desdobro de toras de

Eucalyptus grandis de 21 anos de idade.

O rendimento médio de 39,71% em tábuas na condição seca foi coerente com a idade reduzida da madeira. O inventário volumétrico detalhado da parcela experimental, as porcentagens de madeira e de árvores que forneceram matéria-prima para serraria, e a análise de defeitos das tábuas, incluindo os índices de rachamento, quantificação dos nós e empenamentos, foram publicados por Carvalho (2000).

Tabela 3. Rendimento em madeira serrada antes e após secagem, e dimensões médias das tábuas obtidas com a madeira da região I

Table 3. Sawnwood yield before and after drying, and average dimensions of the region I boards

Rendimento em madeira serrada (antes da secagem)	Rendimento em madeira serrada (após secagem)	Largura média das tábuas após desdobro (cm)	Espessura das tábuas após desdobro (cm)	Comprimento das tábuas após desdobro (m)
41,17 %	39,71 %	9,89	2,7	4,0

3.3 Composição química da madeira

Os resultados da composição química da madeira apresentados nas Tabelas 4 e 5 ficaram bastante próximos aos valores encontrados em testes realizados anteriormente nas espécies parentais. Shimoyama (1990) não encontrou diferenças signifi-

cativas entre a composição química da madeira do *Eucalyptus grandis* e do *Eucalyptus urophylla*. A porcentagem de lignina encontrada nos três tratamentos ficou dentro de valores de referência do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, de 21% a 25% (Shimoyama, 1990).

Tabela 4. Análises de variância para os resultados da composição química da madeira

Table 4. Variance analyses for the results of the wood chemical composition

(Variável: Porcentagem de extrativos totais)					
Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	0,9454166	0,4727083	6,06	0,03647*
Resíduo	6	0,4683395	0,0780566		
Total	8	1,4137561			
(Variável: Porcentagem de lignina)					
Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	0,7999377	0,3999689	0,05	0,95425 ^{n.s.}
Resíduo	6	50,4088908	8,4014818		
Total	8	51,2088286			
(Variável: Porcentagem de holocelulose)					
Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	3,1769244	1,5884622	0,21	0,81707 ^{n.s.}
Resíduo	6	45,4532833	7,5755472		
Total	8	48,6302078			

n.s. = não significativo - significativo a 95% de probabilidade

Tabela 5. Valores médios das características químicas avaliadas na madeira**Table 5.** Medium values of the wood chemical characteristics

Tratamento	ET	LIG	HOLO
1	3,69 a	22,20 a	74,10 a
2	4,36 b	22,93 a	72,71 a
3	3,65 a	22,59 a	73,76 a

ET = teor de extrativos totais (%); LIG = teor de lignina solúvel (%); HOLO = teor de holocelulose (%)

Médias seguidas de uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos apresentaram diferenças estatisticamente significativas apenas para a variável porcentagem de extrativos totais (Tabela 5). Os valores mostraram-se ligeiramente superiores no Tratamento 2, amostra que representa a primeira tora no sentido base-topo das árvores até a altura de 4m, e que apresenta maior quantidade de cerne em relação ao restante do tronco.

As variáveis porcentagem de lignina e porcentagem de holocelulose não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

3.4 Análise de dimensões das fibras

As duas espécies que originaram o material híbrido estudado possuem características distintas quanto a dimensões de suas fibras; em trabalhos anteriores, observou-se que, na maioria dos casos, o *Eucalyptus urophylla* possui uma fibra de maior espessura da parede, que fornece maior volume e resistência ao papel (Shimoyama, 1990). Esta é uma das características desejadas no cruzamento da espécie com o *Eucalyptus grandis*.

Os valores de fração parede encontrados foram avaliados estatisticamente e apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Nas variáveis comprimento e largura das fibras não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Para o diâmetro do lúmen, o tratamento 2 apresentou média ligeiramente inferior e, para espessura da parede, os tratamentos 1 e 2 apresentaram médias superiores ao tratamento 3.

A Tabela 8 apresenta os índices calculados a partir dos resultados da análise das dimensões das fibras.

Dentre as relações entre as dimensões das fibras expressas pela fração parede (FP - porcentagem da largura ocupada pela parede da fibra); pelo coeficiente de flexibilidade (CF - porcentagem da largura ocupada pelo lúmen da fibra); pelo índice de enfiamento (IE - comprimento/ largura da fibra) e pelo índice de Runkel (IR - relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lúmen da fibra); o IR é o que possui maior correlação com a densidade (Ruy, 1998). Observando-se os valores obtidos para os três tratamentos, conclui-se que o tratamento 3 mostrou menor IR, o que pode estar associado com a menor participação, nesta amostra, de madeira da base das árvores.

Tabela 6. Análises de variância para os resultados de dimensões das fibras*Table 6.* Variance analyses for the results of the fiber dimensions

(Variável: Comprimento)

<i>Fonte de Variação</i>	<i>G.L.</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>Prob.>F</i>
Tratamento	2	0,0438103	0,0219052	0,69	0,50623 ^{n.s.}
Resíduo	297	9,4092379	0,0316809		
Total	299	9,4530483			

(Variável: Largura)

<i>Fonte de Variação</i>	<i>G.L.</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>Prob.>F</i>
Tratamento	2	6,9123684	3,4561842	0,50	0,61174 ^{n.s.}
Resíduo	297	2045,3096804	6,8865646		
Total	299	2052,2220489			

(Variável: Diâmetro do lúmen)

<i>Fonte de Variação</i>	<i>G.L.</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>Prob.>F</i>
Tratamento	2	31,2501417	15,6250709	3,01	0,04934*
Resíduo	297	1542,4217264	5,1933391		
Total	299	1573,6718681			

(Variável: Espessura da parede)

<i>Fonte de Variação</i>	<i>G.L.</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>Prob.>F</i>
Tratamento	2	9,1788669	4,5894335	3,75	0,02387*
Resíduo	297	363,1407787	1,2226962		
Total	299	372,3196457			

n.s. = não significativo

* significativo a 95% de probabilidade

Tabela 7. Resultados das análises de dimensões das fibras**Table 7.** Results of the fiber dimensions analyses

Tratamento	Comprimento* (mm)	Largura * (um)	Diâmetro Lúmen (um)*	Espessura da Parede (um)*
1 (mad. para celulose + mad. para serraria)	$s = 0,1642$ 1,07 a C.V. = 15,72	$s = 2,6110$ 17,48 a C.V. = 14,94	$s = 2,2911$ 8,49 a C.V. = 26,99	$s = 1,2267$ 4,49 a C.V. = 27,30
2 (mad. para serraria)	$s = 0,2047$ 1,05 a C.V. = 19,50	$s = 2,5414$ 17,18 a C.V. = 14,80	$s = 2,1005$ 7,98 b C.V. = 26,34	$s = 1,1902$ 4,60 a C.V. = 25,87
3 (mad. para celulose)	$s = 0,1564$ 1,08 a C.V. = 14,52	$s = 2,7195$ 17,14 a C.V. = 15,87	$s = 2,4393$ 8,76 a C.V. = 27,84	$s = 0,8636$ 4,19 b C.V. = 20,62

* Teste de Tukey, médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de significância

Tabela 8. Índices calculados a partir da relação entre as dimensões das fibras**Table 8.** Indexes calculated from the relationship among the fiber dimensions

Índice:	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
Fração parede - FP	51,43	53,57	48,87
Coefficiente de flexibilidade - CF	48,57	46,43	51,13
Índice de enfiamento - IE	61,32	61,11	62,87
Índice de Runkel - IR	1,059	1,154	0,956

3.5 Cozimentos para produção de polpa de celulose

Os resultados dos cozimentos (Tabela 9) foram avaliados em função do rendimento após lavagem da polpa (rendimento bruto), rendimento após a depuração (rendimento depurado), porcentagem de rejeitos em peso em relação à polpa, número kappa (lignina residual) e viscosidade da celulose.

A Tabela 10 mostra as análises de variância realizadas a partir dos resultados dos três cozimentos realizados.

A Tabela 11 apresenta os testes de comparação de médias de Tukey, em que foram observadas diferenças significativas nas análises de variância.

Quanto ao rendimento em celulose produzida, o material obteve valores bastante elevados, mostrando ser uma madeira adaptada à indústria de celulose e que passou por programas de melhoramento para este fim. O tratamento 2, que utilizou somente cavacos oriundos da tora, que em um programa de uso múltiplo seria utilizada como madeira serrada, apresentou resultados estatisticamente inferi-

ores nas variáveis rendimento bruto e rendimento depurado.

Os rendimentos depurados acima de 53%, obtidos em algumas situações são superiores a trabalhos realizados com materiais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (Barrichelo & Brito, 1977). O híbrido destas espécies vem sendo empregado com grande sucesso em indústrias de celulose, principalmente nos

estados de São Paulo e Espírito Santo (Ferreira, 1992).

Nas Tabelas 9 e 10 observa-se que os cozimentos realizados com menor concentração de álcali ativo (12%) resultaram em um teor de rejeitos mais elevado.

Na Figura 2 nota-se que, em todos os tratamentos, o rendimento se manteve acima de 50%, exceto na amostra do tratamento 2, com 15% de álcali ativo.

Tabela 9. Rendimentos, número kappa e viscosidade na polpa obtida de cada tratamento

Table 9. Yields, kappa number and viscosity of pulp from each treatment

Cozimento 1 - Tratamento 1 (madeira para celulose + madeira para serraria)					
% A.A.	Rend. bruto (%) (média de 2 rep.)	Teor de rejeitos (%) (média de 2 rep.)	Rend. depurado (%) (média de 2 rep.)	Nº Kappa (média de 2 rep.)	Viscosidade (média de 2 rep.)
12%	53,92	0,0417	53,88	15,6	79,49
13%	53,68	0,0154	53,66	14,6	44,53
14%	54,10	0,0080	54,09	12,9	38,22
15%	54,11	0,0319	54,08	11,8	28,92
Cozimento 2 - Tratamento 2 (madeira para serraria)					
% A.A.	Rend. bruto (%) (média de 2 rep.)	Teor de rejeitos (%) (média de 2 rep.)	Rend. depurado (%) (média de 2 rep.)	Nº Kappa (média de 2 rep.)	Viscosidade (média de 2 rep.)
12%	51,60	0,1323	51,47	15,4	51,46
13%	50,59	0,0199	50,57	13,6	52,61
14%	50,13	0,0194	50,11	13,1	51,86
15%	48,81	0,0074	48,80	11,3	37,88
Cozimento 3 - Tratamento 3 (madeira para celulose)					
% A.A.	Rend. bruto (%) (média de 2 rep.)	Teor de rejeitos (%) (média de 2 rep.)	Rend. depurado (%) (média de 2 rep.)	Nº Kappa (média de 2 rep.)	Viscosidade (média de 2 rep.)
12%	54,65	0,2489	54,40	18,2	79,90
13%	52,68	0,0076	52,67	18,0	48,31
14%	52,86	0,0140	52,85	16,1	52,40
15%	53,08	0,0117	53,07	14,5	33,33

Tabela 10. Análises de variância para os resultados dos cozimentos**Table 10.** Variance analyses for pulp production results

(Variável: Rendimento bruto)

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	61,5437234	30,7718617	28,87	0,00010*
% A.A.	3	6,5803407	2,1934469	2,06	0,15891 ^{n.s.}
Tratamento x % A.A.	6	6,6199844	1,1033307	1,04	0,44995 ^{n.s.}
Resíduo	12	12,7899715	1,0658310		
Total	23	87,5340201			

(Variável: Teor de rejeitos)

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	0,0086088	0,0043044	1,25	0,32270 ^{n.s.}
% A.A.	3	0,0714079	0,0238026	6,89	0,00622*
Tratamento x % A.A.	6	0,0354749	0,0059125	1,71	0,20124 ^{n.s.}
Resíduo	12	0,0414483	0,00345440		
Total	23	0,1569399			

(Variável: Rendimento depurado)

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	61,6890216	30,8445108	29,26	0,00009*
% A.A.	3	5,3163207	1,7721069	1,68	0,22318 ^{n.s.}
Tratamento x % A.A.	6	6,0312298	1,0052050	0,95	0,50522 ^{n.s.}
Resíduo	12	12,6489547	1,0540796		
Total	23	85,6855267			

(Variável: Número kappa)

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	53,3909538	26,6954769	61,25	0,00001*
% A.A.	3	50,3101398	16,7700466	38,48	0,00002*
Tratamento x % A.A.	6	1,8823894	0,3137316	0,72	0,64289 ^{n.s.}
Resíduo	12	5,2298612	0,4358218		
Total	23	110,8133441			

(Variável: Viscosidade)

Fonte de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob.>F
Tratamento	2	155,3093077	77,6546538	0,99	0,59713 ^{n.s.}
% A.A.	3	4177,6732032	1392,5577344	17,71	0,00024*
Tratamento x % A.A.	6	1311,9348675	218,6558113	2,78	0,06199 ^{n.s.}
Resíduo	12	943,5172180	78,6264348		
Total	23	6588,4345964			

n.s. = não significativo

* significativo a 95% de probabilidade

Tabela 11. Testes de Tukey para as variáveis avaliadas após os cozimentos*Table 11.* Tukey test for the pulp production variable

(Variável: Rendimento bruto)		
Fonte de Variação: Tratamento	Média	5% *
1 (mad. para celulose + mad. para serraria)	53,95	a
2 (mad. para serraria)	50,28	b
3 (mad. para celulose)	53,32	a
(Variável: Teor de rejeitos)		
Fonte de Variação: % A.A.	Média	5% *
12%	0,1410	a
13%	0,0143	b
14%	0,0138	b
15%	0,0170	b
(Variável: Rendimento depurado)		
Fonte de Variação: Tratamento	Média	5% *
1 (mad. para celulose + mad. para	53,93	a
2 (mad. para serraria)	50,24	b
3 (mad. para celulose)	53,25	a
(Variável: Número kappa)		
Fonte de Variação: Tratamento	Média	5% *
1 (mad. para celulose + mad. para	13,73	a
2 (mad. para serraria)	13,31	a
3 (mad. para celulose)	16,66	b
(Variável: Número kappa)		
Fonte de Variação: % A.A.	Média	5% *
12%	16,37	a
13%	15,37	a
14%	14,02	b
15%	12,52	c
(Variável: Viscosidade)		
Fonte de Variação: % A.A.	Média	5% *
12%	70,28	a
13%	48,48	b
14%	47,49	b
15%	33,37	b

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

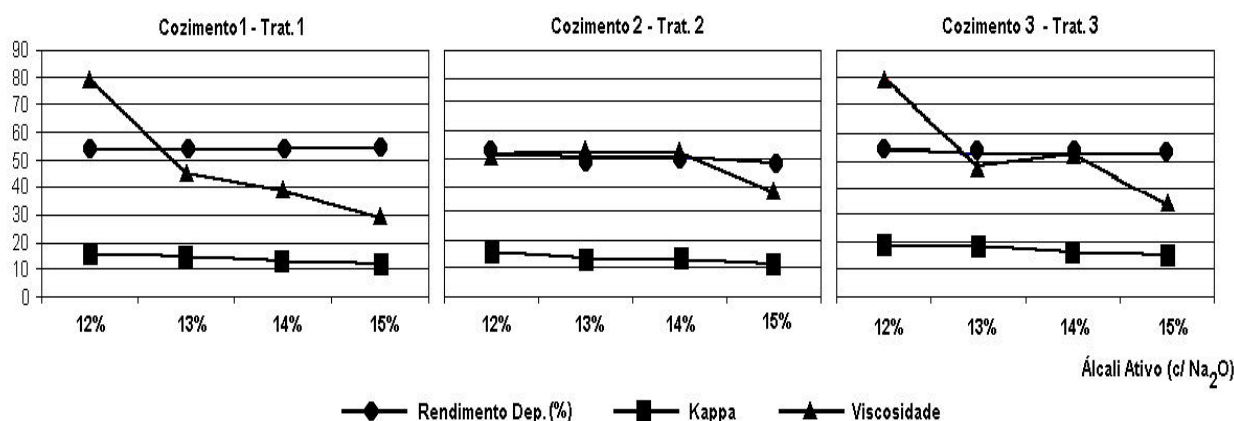


Figura 2. Valores de rendimento depurado, número kappa e viscosidade

Figure 2. Values of depured yield, kappa number and viscosity

Os valores de número kappa e viscosidade decresceram conforme aumentou a carga de álcali (Tabelas 9 e 10, Figura 2). Nos tratamentos com 12% de álcali ativo, o número kappa apresentou resultados em torno de 15, nos dois primeiros cozimentos e 18, no terceiro.

A viscosidade da polpa se manteve alta, decrescendo de forma significativa com o aumento da concentração de álcali ativo.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foram possíveis as seguintes conclusões:

O material estudado se mostrou altamente adaptado à indústria de celulose e papel, apresentando altos rendimentos e alta qualidade na polpa produzida;

A simulação da retirada de uma porção da madeira para utilização na indústria de serraria, toras da base até 4 metros de altura, não interferiu negativamente nos ensaios realizados. Assim sendo, no possível aproveitamento de uma parte do plantio como madeira serrada, a indústria de celulose não sofreria nenhum tipo de perda na qualidade de

seu produto ou no rendimento da conversão madeira em polpa.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento do projeto.

À International Paper do Brasil, pela doação do material e apoio logístico.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela disponibilização dos locais de ensaios e equipamentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7537/MB 874, Pastas celulósicas** - Determinação do número Kappa. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7730/MB 1664, Pasta**

celulósica - Determinação da viscosidade em solução de cuproetilenodiamina (CUEN) com viscosímetro do tipo capilar. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas Técnicas**. São Paulo, 1974.

BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica da madeira em cavacos. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 9, p. 12-4, 1975.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para a produção de celulose sulfato. **Revista do IPEF**, Piracicaba, v. 10, p. 17-37, ago. 1975.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variações das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas correlações com a produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 10., 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1977. p. 41-46.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Instruções para coleta de amostras de madeiras destinadas a ensaios de produção de celulose**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", publicação do Setor de Química, Celulose e Energia/DCF, 1978.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 17., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1984. p. 403-409.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) –

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

COUTO, H. T. Z. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 20-30.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FERREIRA, M. Melhoramento e silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 45, p. 22-30, 1992.

FOELKEL, C. E. **Amostragem da madeira para tecnologia de celulose**. Viçosa: UFV, 1977. (Publicação da CENIBRA)

LQCE - ESALQ/USP. Laboratório de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". **Manual de procedimentos internos do laboratório**. Piracicaba, S. P.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SANTOS, J. A. Tecnologia de transformação do eucalipto para madeira maciça. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 3., 1994, Figueira da Foz – Portugal. **Anais...** Figueira da Foz – Portugal, 1994. p. 232-243.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influências de características anatômicas e químicas sobre a densidade de madeira de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 23-36. “”