

3093

Celulose e papel  
processo kraft 100g  
cozimento 64g

## cozimentos kraft com madeira de eucalyptus grandis de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos

**Tim Rudolf Wehr**

Ripasa S.A. Celulose e Papel

**Luiz Ernesto George Barrichelo**

Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz"/USP - Piracicaba

### SINOPSE

Quatro tipos de madeira de *Eucalyptus grandis* provenientes de plantios diferentes, apresentando uma ampla variação na densidade básica, foram submetidos a cozimentos experimentais kraft.

As variações na densidade básica foram acompanhadas de diferenças na composição química da madeira e, como conseqüência, os resultados obtidos nos cozimentos indicaram potenciais

Trabalho apresentado no 25.º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo, de 23 a 27 de novembro de 1992. Prêmio de incentivo - ABTCP.

bastante diferenciados para a produção de celulose.

Aspectos relacionados com a picagem industrial e com o comportamento dos cavacos classificados por espessura nos cozimentos foram avaliados e evidenciaram a influência dos tipos de madeira.

Four kinds of *Eucalyptus grandis* wood coming from different plantings, presenting a great diversity in basic density, were exposed to experimental kraft cookings.

The changes in basic density were followed by differences in wood chemical composition, and thus, the results obtained in cookings showed very different potentials for the cellulose production.

Aspects related with the industrial chipping and with the behaviour of the chips rated by thickness during the cooking were evaluated and showed the influence of the different kinds of wood.

### 1. Introdução

O abastecimento de muitas fábricas produtoras de celulose, na região sudeste do Brasil, apresenta características semelhantes.

Atualmente, a matéria-prima de maior importância é o *Eucalyptus grandis*, devido às suas características silviculturais favoráveis para plantios comerciais, oferecendo altos níveis de produtividade em regiões subtropicais, além de facilitar a obtenção de sementes puras.



Ainda, os resultados excelentes na polpação, branqueamento e fabricação de papel tornam esta espécie a mais plantada e conhecida, embora a introdução indiscriminada em regiões ecológica-mente inadequadas, em muitos casos, conduziu ao desenvolvimento precário da espécie (Bunardo et alii, 1978).

Barrichelo et alii (1983) verificaram que as variações que ocorrem nos aspectos de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, voltados à produção de celulose, dificultam a generalização de um padrão para esta qualidade.

Na maioria dos casos a madeira que abastece as fábricas provém de vários parques florestais que apresentam condições edafoclimáticas diferentes e foram reflorestadas com material genético de diversas procedências e, freqüentemente, empregando técnicas de manejo variadas. Por outro lado, uma boa parcela do abastecimento consiste da madeira de terceiros, sendo que nestes casos nem sempre se dispõe de informações silviculturais confiáveis. Inclusive, o mercado de madeira para a produção de celulose é bastante concorrido atualmente, o que limita as possibilidades de se selecionar madeira na compra.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar a importância das variações na qualidade da madeira no tocante a alguns aspectos voltados à polpação kraft. Na prática se convive com uma variabilidade intensa nestes aspectos, mesmo quando se consome madeira de uma única espécie de eucalipto. Para se aprimorar o processo produtivo com uma homogeneidade cada vez maior na qualidade da celulose, são fundamentais os conhecimentos mais aprofundados nesta área.

Segundo Foelkel (1978) a densidade básica da madeira pode ser considerada como um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da sua qualidade. Outros aspectos de qualidade como dimensões de fibras, teores de vasos, parênquima e extrativos estão intimamente ligados.

Os limites da densidade básica da madeira de eucalipto para celulose deveriam estar entre 0,450 e 0,550 g/cm<sup>3</sup>. Madeiras muito leves levam à redução do rendimento em celulose (base volume de madeira), enquanto madeiras pesadas apresentam dificuldades na picagem e impregnação, consomem quantidades elevadas de reagentes, podem conduzir a baixos rendimentos de processo e elevados teores de rejeitos.

A dependência entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico em cozimentos kraft deve porém ser considerada com cautela segundo Foelkel (1974). Embora sejam apresentadas relações bem definidas em alguns trabalhos, estas relações não deveriam ser generalizadas.

A composição química da madeira é de grande importância para os resultados de polpação, como demonstraram Barrichelo et alii (1983), ao verificarem alta correlação entre o teor de holo-celulose da madeira e o rendimento em celulose. O consumo de reagentes e a quantidade de sólidos incorporados no licor negro também dependem destas características.

Higgins (1978) atribue especial importância aos extrativos da madeira do *Eucalyptus grandis* nos processos de polpação, devido aos teores que podem atingir e à composição que pode ser bastante prejudicial.

As dimensões dos cavacos são de fundamental importância para que ocorra uma distribuição homogênea e impregnação efetiva dos agentes químicos de cozimento para o interior da madeira. A distribuição efetiva e rápida dos agentes químicos assegura reações homogêneas durante o cozimento e, conseqüentemente, a alta qualidade da celulose produzida (Foelkel, 1978).

Os requisitos dimensionais dos cavacos dependem do processo empregado e das características da madeira, e já foram objeto de inúmeros estudos. A maior importância da espessura dos cavacos na polpação kraft é bem conhecida. Backman (1946) já definia esta dimensão como

sendo a principal na impregnação com licor.

São inúmeros os trabalhos em que se procurou definir limites ideais para a espessura dos cavacos no processo kraft. Em geral são considerados aceitáveis cavacos com espessura entre 2 e 8 milímetros, dependendo porém da espécie e das condições do processo. Cavacos muito finos, juntamente com o pó, geram sólidos no licor negro, baixos rendimentos e elevado consumo de reagentes. Já os cavacos superdimensionados, muitas vezes associados à presença de nós e anomalias na estrutura da madeira, elevam os teores de rejeitos, e também implicam na utilização de maiores dosagens de alcali, que por sua vez conduzem a rendimentos mais baixos e prejudicam a qualidade da celulose (Hartler & Stade, 1979).

Miranda & Barrichelo (1990) demonstraram que a espessura ideal dos cavacos depende da espécie da madeira utilizada. Ficou demonstrado que a espessura ideal para cavacos da madeira de *Eucalyptus citriodora*, que normalmente apresenta maiores dificuldades no cozimento, é menor do que a espessura ideal para cavacos de *Eucalyptus saligna*.

A espessura dos cavacos é definida no picador pelas características construtivas e disposição dos seus componentes, em combinação com as características mecânicas da madeira (Mc-Lauchlan & Lapointe, 1979).

As variações que ocorrem na densidade básica e no teor de umidade da madeira, sendo características que apresentam alta correlação com as resistências mecânicas da madeira, contribuem bastante para as variações nas dimensões dos cavacos.

Sempre que possível, deve se esgotar os recursos disponíveis no picador, ainda que limitados, para o controle de dimensões dos cavacos, bem como aprimorar programas de manutenção deste equipamento, antes de se implementar as técnicas corretivas de classificação (Lancaster, 1987).

Quando são implantados sistemas corretivos, como o peneira-



mento por espessura para cavacos, normalmente os ganhos alcançados compensam os investimentos e custos operacionais com retorno a curto prazo (Briscoe, 1985; Axen, 1983).

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Material

Foram selecionados quatro lotes industriais de diferentes tipos de madeira da espécie *Eucalyptus grandis*. Procurou-se cobrir uma ampla variação da qualidade da madeira com base em características práticas de polpação. A escolha foi baseada em resultados obtidos em cozimentos experimentais e boletins de controle de processo e qualidade de processamento industrial.

Amostras compostas, com aproximadamente trinta estéreos de toras coletadas ao longo de um mês de abastecimento, foram picadas em um picador de disco industrial Cartage-Single de 112 polegadas com 15 facas, equipado com um segmento para 3/4 de comprimento de cavacos. O picador alimentado por gravidade lançava os cavacos a um pátio pela força centrífuga do disco, sendo ali coletadas amostras contendo aproximadamente 20 kg absolutamente secos de cavacos.

Os tipos de madeira foram nomeados com as letras A, B, C e D. Os tipos B e C são os mais adequados para a produção de celulose na prática. Alguns dados relativos ao processamento industrial e características silviculturais dos plantios de origem são apresentados a seguir:

#### Lote A

Madeira com características pouco comuns, excelente para a produção de celulose, densidade básica considerada baixa (em torno de 0,400 g/cm<sup>3</sup>). Na prática é de fácil cozimento, requerendo dosagens de álcali ativo abaixo da média e um período de repouso à temperatura máxima de cozimento bastante reduzido, nas condições do processo estudado (tempo de levantamento até 170°C = 80 minutos; período

temperatura máxima = 5 a 10 minutos).

- Idade: 63 meses.
- Procedência das sementes: África do Sul.
- Localização do plantio: Pilar do Sul - SP.
- Incremento médio anual: 50 estéreos/hectare.
- Característica do solo: Argiloso.

#### Lote B

Madeira com características bastante favoráveis para a produção de celulose, com densidade básica considerada média (em torno de 0,430 g/cm<sup>3</sup>). Na prática produz celulose branqueável de boa qualidade com dosagens de álcali em torno da média. Requer de 10 a 20 minutos de repouso temperatura máxima de cozimento, após um período de levantamento de 80 minutos, considerando as condições do processo estudado.

- Idade: 63 meses.
- Procedência das sementes: Mogi Guaçu.
- Localização do plantio: Bocaina - CP.
- Incremento médio anual: 43 estéreos/hectare.
- Características do solo: Areia Quartzosa e Lato-solo vermelho escuro.

#### Lote C

Madeira com características favoráveis para a produção de celulose, com densidade básica considerada de média a alta (em torno de 0,500 g/cm<sup>3</sup>). Na prática produz celulose branqueável de boa qualidade com dosagens de álcali ativo um pouco acima da média. Requer de 20 a 30 minutos de repouso temperatura máxima de cozimento após um período de levantamento de 80 minutos, considerando as condições do processo estudado.

- Idade: 84 meses.
- Procedência das sementes: Mogi Guaçu.
- Localização do plantio: Ribas do Rio Pardo - MS.
- Incremento médio anual: 21 estéreos/hectare.
- Característica do solo: Areia Quartzosa (solo de Cerrado).

#### Lote D

Madeira com características pouco favoráveis para a produção de celulose, com densidade básica considerada alta (acima de 0,550 g/cm<sup>3</sup>). Na prática emprega dosagens de álcali acima da média e produz celulose de difícil branqueamento e que apresenta dificuldades no refino.

- Idade: 108 meses.
- Procedência das sementes: Mogi Guaçu e Lençóis Paulista.
- Localização do plantio: Ribas do Rio Pardo - MS.
- Incremento médio anual: 26 estéreos/hectare.
- Característica do solo: Areia Quartzosa.

### 2.2. Métodos

Utilizando-se um paquímetro, amostras contendo o equivalente a 5000 gramas de cavacos absolutamente secos, foram subdivididas em 5 classes de espessura, segundo os limites especificados na Tabela 1.

**TABELA 1**  
Classes de espessura dos cavacos

Classe	Dimensões (mm)
I	≤ 1,95
II	2,00 - 3,95
III	4,00 - 5,95
IV	6,00 - 7,95
V	≥ 8,00

Os cavacos de cada classe foram utilizados em verificações de densidade básica, análises químicas da madeira e em cozimentos experimentais.

#### 2.2.1. Densidade básica da madeira

Empregou-se o método do máximo teor de umidade descrito por Foelkel et alii, 1983, para as determinações de densidade dos cavacos classificados. O valor global para cada tipo de madeira foi calculado pela média ponderada dos resultados obtidos nas classes, adotando-se as respectivas quantidades de madeira absolutamente seca verificadas na classificação como fatores.



### 2.2.2. Análises químicas da madeira

Foram determinados os principais componentes químicos de madeira sem casca compreendendo: extrativos totais, holoceleulose e lignina a partir dos cavacos classificados.

As análises de extrativos, lignina Klason e lignina solúvel foram efetuadas em seqüência analítica combinada compatível com as normas TAPPI e ABTCP. Os teores de holoceleulose foram obtidos por diferença. As análises foram efetuadas com duas repetições.

Os teores de extrativos, lignina e holoceleulose, gerais para cada tipo de madeira, foram calculados a partir das médias ponderadas dos resultados obtidos nas frações, adotando-se as respectivas quantidades de madeira absolutamente seca verificadas na classificação, como fatores.

### 2.2.3. Cozimentos experimentais

Cozimentos laboratoriais foram realizados em um digestor rotativo de aço inoxidável, com 20 litros de capacidade e aquecimento elétrico.

Os cavacos de cada uma das cinco classes de espessura (tabela 1) foram mantidos separados durante os cozimentos, utilizando-se caixas de tela de aço inoxidável medindo 40 x 40 x 90 milímetros. Com isso permitiu-se a livre circulação do licor de cozimento entre os cavacos de diferentes espessuras, simulando cozimentos convencionais, porém possibilitando-se as análises individualizadas dos resultados para as classes de espessura. Utilizou-se uma quantidade total de madeira equivalente a 1000 gramas absolutamente secos por cozimento.

O número de caixas de tela necessárias para separar os cavacos de cada classe de espessura variou em função das quantidades de madeira tomadas, que respeitaram a classificação.

Ainda tomou-se o cuidado de manter um mesmo nível de enchimento das caixas, e estas foram mantidas soltas no interior

do digestor, possibilitando-se a movimentação durante os cozimentos para garantir que as condições de circulação de licor fossem homogêneas.

As dosagens de alcali para os tipos de madeira foram definidas a partir de cozimentos preliminares para que fosse atingido o mesmo grau de deslignificação (Número Kappa entre 18,0 e 19,0).

As análises dos cozimentos, individualizadas para as frações de classificação dos cavacos, seguiram as normas da Tappi.

As análises compreenderam:

- Rendimento bruto;
- Rendimento depurado;
- Teor de rejeitos base madeira;
- Número Kappa (Norma Tappi - T 236 CM - 85);
- Viscosidade (Norma Tappi - T 230 CM - 82);
- Sólidos orgânicos.

Os sólidos orgânicos foram calculados pela expressão a seguir:

$$S.O. = \frac{100 - R.B.}{R.D.} \cdot \left[ \frac{\text{kg sólidos}}{\text{kg celulose depurada}} \right]$$

onde: S.O. = sólidos orgânicos;  
R.B. = rendimento bruto;  
R.D. = rendimento depurado

Os resultados globais dos cozimentos para os rendimentos, teor de rejeitos e sólidos orgânicos foram calculados a partir das somatórias das respectivas quantidades de celulose, rejeitos e sólidos orgânicos, verificados para cada classe de espessura de cavacos.

O número Kappa médio global para os cozimentos foi calculado pela média ponderada dos números Kappa obtidos para as classes de espessura, empregando-se as respectivas quantidades de celulose depurada produzidas como fatores.

**TABELA 2**  
Condições empregadas nos cozimentos

Variável	Tipo de madeira			
	A	B	C	D
Alcali ativo como Na <sub>2</sub> O (%) <sup>1</sup>	16,0	16,5	17,0	19,0
Sulfidez (%)	25	25	25	25
Atividade (%)	85	85	85	85
Relação licor/madeira (l/kg)	4,25	4,25	4,25	4,25
Temperatura máxima (°C)	170	170	170	170
Tempo até 170°C (min)	80	80	80	80
Tempo a 170°C (min)	30	30	30	30

<sup>1</sup> = Dosagem sobre o peso absolutamente seco de madeira.

**TABELA 3**  
Porcentagem de cavacos retidos nas classes de espessura

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>				
	I	II	III	IV	V
A	3,5	64,3	26,1	3,6	2,5
B	4,1	62,0	26,8	4,1	3,0
C	4,3	61,0	27,1	4,4	3,2
D	4,4	51,9	28,3	8,7	6,8

<sup>1</sup> = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.



### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Picagem e Classificação de Cavacos

A classificação dos cavacos por espessura demonstrou que os tipos de madeira se comportaram de maneira diferente na picagem. Estas diferenças foram mais evidentes ao se compararem os tipos extremos A e D. A madeira do tipo A, de menor densidade básica, apresentou a maior frequência de cavacos na classe de espessura II (de 2 a 4 mil milímetros). A madeira do tipo D, com a maior densidade básica, apresentou maiores frequências de cavacos nas classes de maior espessura (Tabela 3).

As diferenças na classificação dos cavacos, entre os tipos de madeira, podem ser explicadas pela combinação dos esforços mecânicos gerados na picagem com as resistências mecânicas da madeira, que dependem da densidade, como descrito por Mc Govern (1979).

Madeiras mais densas por apresentarem maiores resistências mecânicas, tendem a gerar cavacos mais espessos durante a picagem.

A maior variabilidade das dimensões e a maior frequência de cavacos de maior espessura, verificados para os tipos de madeira de maior densidade básica, implicam em uma impregnação mais heterogênea, podendo afetar as condições de deslignificação durante a polpação.

Cavacos mais heterogêneos em suas dimensões implicam no emprego de maiores cargas de alcali, para que seja garantida uma deslignificação efetiva para todos os cavacos. Sob estas condições, porém, ocorrem prejuízos como menores rendimentos e uma maior degradação da celulose de acordo com Schmied (1964) e Farkas (1965).

Os tipos de madeira de maior densidade básica necessitariam de um picador melhor ajustado de maneira a produzirem cavacos mais homogêneos e menores para que fossem compensadas as maiores dificuldades de impreg-

nação, principalmente quando se misturam os tipos de madeira no abastecimento fabril.

#### 3.2. Densidade Básica

A densidade básica determinada para os cavacos de cada classe de espessura, de maneira geral, demonstrou uma tendência de aumento, das menores para as maiores espessuras. Os resultados das determinações são apresentadas na Tabela 4.

Os resultados comprovam mais uma vez que, mesmo para as variações dentro de árvores, a densidade, estando relacionada com as resistências mecânicas da madeira, exerceu influência sobre as dimensões dos cavacos. A casualidade da variação nas dimensões dos cavacos está, portanto, condicionada ao local de origem do cavaco dentro das toras, ou a toras diferentes.

A variação na densidade básica, verificada entre os tipos de madeira pode ser considerada

intensa. Porém, deve se ressaltar que os tipos de madeira selecionados cobriam a mais ampla variação na qualidade, verificada para o *Eucalyptus grandis* no abastecimento da fábrica fornecedora, por influência de diversos fatores silviculturais como: procedência de sementes, clima, solo, idade e técnicas de manejo.

#### 3.3. Análises Químicas da Madeira

Os quatro tipos de madeira evidenciaram diferenças acentuadas em sua composição química, como pode ser visto na Tabela 5.

As diferenças mais intensas puderam ser notadas no teor de extrativos. Enquanto a madeira do tipo A apresentou um teor de extrativos relativamente baixo, com 4,1 por cento, a madeira do tipo D apresentou um teor bastante elevado, com 8,5 por cento.

A madeira do tipo D apresentou teores de extrativos e de lignina mais elevados, podendo ter

TABELA 4  
Densidade básica dos cavacos classificados por espessura (g/cm<sup>3</sup>)

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Média <sup>2</sup>
	I	II	III	IV	V	
A	0,406	0,393	0,399	0,421	0,506	0,398
B	0,412	0,422	0,437	0,443	0,448	0,432
C	0,462	0,482	0,497	0,493	0,553	0,487
D	0,560	0,571	0,572	0,583	0,584	0,573

1 = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.

2 = Média ponderada das densidades básicas verificadas para as classes de espessura.

TABELA 5  
Resultados das análises químicas para os diferentes tipos de madeira

Tipos de madeira	Extrativos totais (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
A	4,1	25,7	70,2
B	5,1	27,4	67,5
C	5,9	27,9	66,2
D	8,5	29,9	61,6



sofrido alguma influência devido à sua maior idade, conforme discutido por Foelkel (1978).

Os teores de extrativos elevados encontrados para a madeira do tipo D podem inclusive ter contribuído para os altos valores de densidade básica encontrados.

Os extrativos da madeira são considerados de grande importância na polpação e, normalmente, causam prejuízos porque dificultam a impregnação de cavacos, consomem reagentes no cozimento e reduzem o rendimento, entre outros.

Os teores de extrativos e de lignina total demonstraram a tendência de aumentar e o teor de holocelulose de diminuir do tipo de madeira de menor para o de maior densidade básica.

Em combinação com as características dimensionais dos cavacos, a composição química justifica os piores resultados dos tipos de madeira de maior densidade básica na polpação.

Dentro de cada tipo de madeira, entre as classes de espessura dos cavacos, também foram notadas variações na composição química, que desfavoreceram os cavacos de maior espessura na polpação, conforme pode ser verificado na Tabela 6. Entretanto, estas variações foram menores do que as verificadas entre os tipos de madeira.

O fato de a classe de espessura I, que compreende principalmente finos e palitos, ter apresentado teores de extrativos sempre mais elevados do que a classe II, pode ser explicado pela participação de fragmentos de casca junto aos finos. A classe de espessura I, na verdade não é representada por cavacos típicos, gerados na picagem, e sim por palitos e pó gerados após a picagem a partir da fragmentação de cavacos das demais classes de espessura.

#### 3.4. Cozimentos Experimentais

Os resultados dos cozimentos experimentais comprovaram as expectativas sugeridas pelas análises químicas da madeira, densidade básica e dimensões dos cavacos e oferecem uma in-

dicação prática da importância destes parâmetros.

#### 3.4.1. Rendimento e teor de rejeitos

O rendimento bruto e depurado médios globais para os tipos de madeira, bem como os resultados obtidos em cada classe de espessura dos cavacos, são apresentados nas Tabelas 7 e 8 e nas Figuras 1 e 2. Nota-se que, nos resultados médios globais ocorreu uma diferença em torno de 7 pontos percentuais para o rendimento bruto e 8 pontos para o rendimento depurado entre as madeiras do tipo A e tipo D.

As classes II e III de espessura dos cavacos sempre levaram aos melhores rendimentos brutos e depurados dentro de cada cozimento, indicando que além

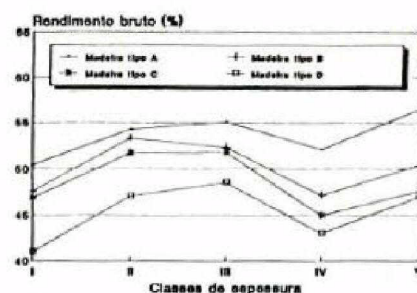


Figura 1 - Rendimento bruto

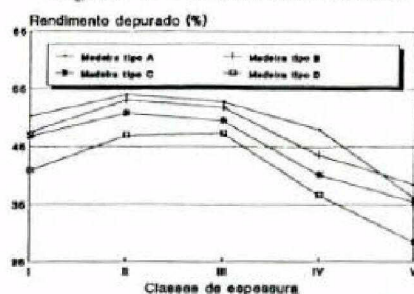


Figura 2 - Rendimento depurado

TABELA 6  
Análises químicas da madeira para as classes de espessura dos cavacos

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>	Extrativos totais (%)	Lignina total (%)	Holocelulose (%)
A	I	4,5	25,3	70,0
	II	3,9	25,6	70,5
	III	4,1	26,0	69,9
	IV	4,7	26,3	69,0
	V	5,5	26,5	68,0
B	I	5,4	27,2	67,4
	II	5,4	27,2	67,4
	III	4,8	27,4	67,8
	IV	4,7	28,0	67,3
	V	5,1	29,0	65,9
C	I	6,0	28,0	66,0
	II	5,8	27,7	66,5
	III	5,9	27,9	66,2
	IV	6,1	28,5	65,4
	V	7,5	29,5	63,0
D	I	8,1	29,5	62,4
	II	8,0	29,6	62,4
	III	8,5	30,0	61,5
	IV	8,7	30,3	61,0
	V	9,0	30,6	60,4

<sup>1</sup> = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.



da composição química favorável, a espessura dos cavacos entre 2 e 6 milímetros são as mais adequadas. A participação da madeira destas classes no total de madeira foi elevada, variando entre 80 e 90 por cento, dependendo do tipo de madeira como pode ser visto na Tabela 3.

As classes I e IV levaram a rendimentos brutos mais baixos do que os respectivos resultados médios globais, para os quatro tipos de madeira. Já a classe V apresentou resultados mais elevados do que a classe IV, conforme pode ser visto na Figura 1.

O maior rendimento bruto verificado para a classe V ocorreu em decorrência da maior dificuldade de impregnação e cozimento dos cavacos de maior espessura, o que impediu o cozimento completo de grande parte dos cavacos. O fato pode ser comprovado pelo alto teor de rejeitos verificado nesta classe e pelo número Kappa mais elevado (Tabelas 9 e 10; Figuras 3 e 4).

Farkas & Jaros (1965) discutem que o comportamento de cavacos de diferentes dimensões

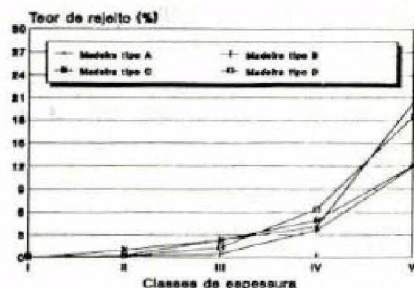


Figura 3

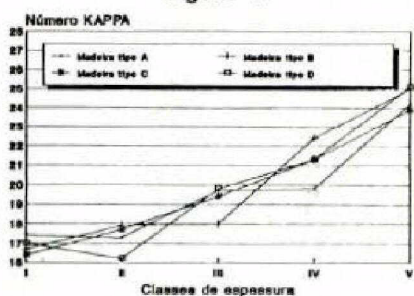


Figura 4

dentro de um cozimento não é o mesmo do que quando os cavacos separados em classes de dimensões são cozidos isoladamente. Na mistura de cavacos com diferentes dimensões o al-

**TABELA 7**  
Rendimento bruto

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Global
	I	II	III	IV	V	
A	50,4	54,3	55,1	52,1	56,5	54,3
B	47,6	53,3	52,3	47,2	50,4	52,5
C	46,9	51,7	51,8	45,0	47,6	51,1
D	41,0	47,1	48,6	43,0	47,0	46,9

<sup>1</sup> = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.

**TABELA 8**  
Rendimento depurado

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Global
	I	II	III	IV	V	
A	50,2	54,0	52,8	48,0	36,1	52,9
B	47,5	53,1	51,8	43,6	38,5	51,7
C	46,8	50,8	49,5	40,1	35,5	49,3
D	40,8	46,9	47,3	36,6	28,5	44,6

<sup>1</sup> = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.

**TABELA 9**  
Teor de rejeitos base madeira

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Global
	I	II	III	IV	V	
A	0,2	0,3	2,3	4,1	20,4	1,4
B	0,1	0,3	0,5	3,6	11,9	0,8
C	0,0	1,0	2,3	4,9	12,1	1,8
D	0,2	0,2	1,3	6,4	18,5	2,3

<sup>1</sup> = Intervalos em milímetros: I - ≤ 1,95; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - ≥ 8,00.

cali é consumido em maior quantidade pelos cavacos pequenos e finos, sendo que nestas misturas os cavacos pequenos são cozidos melhor do que quando separados.

Mesmo sendo pequena a participação dos cavacos das classes IV e V na quantidade total de cavacos gerados na picagem, os rejeitos provenientes destas classes nos cozimentos apresen-



taram contribuições elevadas para os resultados globais.

### 3.4.2. Sólidos orgânicos no licor negro

Um importante parâmetro para a avaliação da potencialidade de diferentes tipos de madeira, tem sido a quantidade de sólidos gerados no cozimento em relação à quantidade de celulose produzida. Isto porque é a capacidade de queima de sólidos nas caldeiras de recuperação que tem limitado a produção de celulose na maioria das fábricas do processo kraft.

Os resultados da quantidade de sólidos orgânicos gerados nos cozimentos em relação às quantidades de celulose produzida são apresentados na tabela 11 e figura 5.

Nota-se que ocorreram diferenças importantes nos sólidos orgânicos. Os valores obtidos indicam que podem ocorrer diferenças em torno de 30 por cento na capacidade de produção de celulose entre os tipos de madeira, no caso de limitação de queima de sólidos em caldeiras de recuperação. Sob estas mesmas condições, torna-se bastante evidente a importância dos cavacos de diferentes classes de espessura com relação à participação destas nos resultados de produção de celulose.

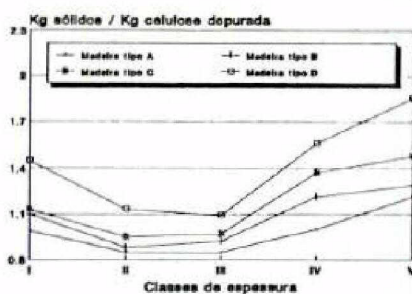


Figura 5 – Sólidos orgânicos

### 3.4.3. Viscosidade e número Kappa

A celulose produzida a partir das madeiras de menor densidade apresentaram os maiores valores de viscosidade (tabela 12). Os resultados podem ser justificados principalmente pelas dife-

TABELA 10  
Número Kappa

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Global <sup>2</sup>
	I	II	III	IV	V	
A	17,4	17,3	19,7	19,8	24,2	18,3
B	16,7	17,9	18,0	22,4	25,0	18,4
C	16,4	17,7	19,4	21,3	23,9	18,4
D	17,0	16,2	19,8	21,3	25,1	18,2

1 = Intervalos em milímetros: I – ≤ 1,95; II – 2,00 a 3,95; III – 4,00 a 5,95; IV – 6,00 – 7,95; V – ≥ 8,00.

2 = Média ponderada dos resultados obtidos nas classes de espessura, empregando as respectivas quantidades de celulose depurada como fatores.

TABELA 11  
Sólidos orgânicos gerados a partir de cada classe de cavacos (kg sólido/kg celulose depurada)

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>					Global
	I	II	III	IV	V	
A	0,99	0,85	0,85	1,00	1,21	0,87
B	1,10	0,88	0,92	1,21	1,29	0,92
C	1,13	0,95	0,97	1,37	1,48	0,99
D	1,45	1,13	1,09	1,56	1,85	1,19

1 = Intervalos em milímetros: I – ≤ 1,95; II – 2,00 a 3,95; III – 4,00 a 5,95; IV – 6,00 – 7,95; V – ≥ 8,00.

TABELA 12  
Viscosidade da celulose

Tipo de madeira	Classes de espessura dos cavacos <sup>1</sup>				
	I	II	III	IV	V
A	28,2	31,0	29,6	30,1	34,2
B	25,6	30,8	29,6	30,6	31,6
C	20,2	24,1	21,8	23,4	27,3
D	17,0	18,7	19,8	21,8	23,8

1 = Intervalos em milímetros: I – ≤ 1,95; II – 2,00 a 3,95; III – 4,00 a 5,95; IV – 6,00 – 7,95; V – ≥ 8,00.

rentes dosagens de alcali requeridas pelos tipos de madeira.

A variação da viscosidade entre as classes de espessura dos

cavacos pode ser explicada pela distribuição dos reagentes, que difere para cavacos de diferentes dimensões, devido aos as-



pectos da impregnação. Este fato pode ser comprovado pelo grau de deslignificação atingido nas classes (Tabela 10).

#### 4. Conclusões

1) A madeira de *Eucalyptus grandis* consumida para a produção de celulose pode apresentar variações intensas em sua qualidade, originadas possivelmente por diferenças nas características genéticas e condições edafoclimáticas.

2) A qualidade da madeira, inicialmente definida pela densidade básica, foi acompanhada por variações na composição química. Os tipos de madeira de maior densidade básica apresentaram os teores de extrativos e holocelulose mais elevados.

3) Na picagem, os tipos de madeira de maior densidade básica conduziram a maiores quantidades de cavacos superdimensionados.

4) As variações nos aspectos de qualidade da madeira conduziram a diferenças de até oito por cento no rendimento depurado em cozimentos com número Kappa igual a 18. No processo industrial, quando ocorre o gargalo pela capacidade de queima de sólidos do licor negro, podem ser estimadas diferenças no potencial de produção de celulose na ordem de trinta por cento, para os tipos de madeira estudados neste trabalho.

5) Independente do tipo de madeira, nas condições de picagem e de processo adotadas, os cavacos entre dois e seis milímetros de espessura apresentaram os melhores resultados dentro dos cozimentos.

#### Bibliografia

ABTCP, São Paulo. Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel – Divisão de Normas

- e Especificações. São Paulo, 1985.
- Axen, A. R. Screening wood chips by thickness can save money. *Pulp and Paper Canada*, 84(5): 14-15, 1983.
- Backmann, A. The influence of the thickness of chips upon pulp yield and pulp quality in pulping with parallelepiped shaped chips. *Paperi ja puu*, Helsinki, 28(13): 200-208, 1946.
- Barrichelo, L. E. G.; Brito, J. O.; Couto, M. T. Z. do & Campinhos Junior, E. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento em celulose de madeira de *Eucalyptus grandis*. *Silvicultura*, São Paulo 82 (32): 802-8. 1983.
- Briscoe, B. Chip thickness screening, slicing system has three – month pay back. *Pulp & Paper*, 59(8): 126-9. 1985.
- Busnardo, C. A.; Foelkel, C. E. B.; Svinakevicius, C.; Kajiya, S. & Alves, E. E. Estudo comparativo da qualidade da madeira de algumas espécies de eucaliptos tropicais. In: Congresso Anual da ABCP, 11. São Paulo, 1978. Anais.
- Farkas, J. The dimensions of chips in kraft pulping. *Papir Celulosa*, 20(1): 11-4, 1965. Apud ABIPC 37: 3611 (Resumo).
- Farkas, J.; Jaros, J. Sulfate cooks of chips of different dimensions. *Papir Celulosa* 20(7): 185-90, 1965. Apud ABIPC 37: A4249 (Resumo).
- Foelkel, C. E. B. Rendimento em celulose sulfato de *Eucalyptus* spp. em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira. *Revista IPEF*, Piracicaba, 9: 61-77, 1974.
- Foelkel, C. E. B. Madeira do Eucalipto: Da floresta ao digestor. In: Congresso Anual da ABCP, 11. São Paulo, 1978. Boletim Informativo IPEF. Piracicaba, 6 (20): E1-E25, 1978.

- Foelkel, C. E. B.; Milanez, A. F. & Busnardo, C. A. Método do máximo teor de umidade aplicado determinação de densidade básica da madeira do eucalipto. *Silvicultura*, 8(28): 792-6, 1983.
- Hartler, N. & Stade, Y. Chip specifications for various pulping processes. In: Hatton, Y. V. Chip quality monograph. Vancouver, Tappi – pulp and paper technology series, 1979, cap. 13, p.273-303.
- Higgins, H. G. Pulp and Paper. In: Hillis, W. E. & Brown, A. G. *Eucalyptus for wood production*. CSIRO, National Library of Australia, 1978, cap. 13, p.290-315.
- Lancaster, L. M. Roundwood processing – chip production. *Tappi Journal*, Atlanta, 70(8): 171-2. 1987.
- Mc Govern, Y. N. Raw material variables in chip production. In: Hatton, J. V. Chip quality monograph. Vancouver, Tappi – pulp and paper technology series, 1979, cap. 5, p.91-110.
- Mc Lauchlan, T. A. & Lapointe, J. A. Production of chips by disk chipers. In: Hatton, J. V. Chip quality monograph. Vancouver, Tappi – pulp and paper technology series, 1979, cap. 2, p. 15-32.
- Miranda, C. R. & Barrichelo, L. E. G. Celulose de madeira de *Eucalyptus citriodora*: Influência do tamanho de cavacos. In: Congresso Anual da ABTCP. São Paulo, 1990. Anais.
- Schmied, J. The effect of the size, size non-uniformity, and the shape of chips on the cooking uniformity in pulping. *Papir Celulosa*, 19(4): 100-6, 1964. Apud ABIPC 37: A382. (Resumo).
- Tappi, Atlanta. Test methods. Fibrous materials and pulp testing. Atlanta, 1988. volume 1.