VARIAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE
Eucalyptus grandis HILL EX MAIDEN E SUAS INFLUÊNCIAS
NA QUALIDADE DE CAVACOS EM COZIMENTOS KRAFT

TIM RUDOLF WEHR
Engenheiro Florestal

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de mestre em Ciências Florestais

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

W414v Wehr, Tim Rudolf
Variações nas características da madeira de Eucalyptus
grandis Hill ex Maiden e suas influências na qualidade de
cavacos em cozimentos Kraft. Piracicaba, 1991.

84p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cavaco - Qualidade 2. Celulose Kraft 3. Eucalipto -
Produto derivado 4. Madeira de eucalipto I. Escola Supe-
rior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 676.126

VARIAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE
Eucalyptus grandis HILL EX MAIDEN E SUAS INFLUÊNCIAS
NA QUALIDADE DE CAVACOS EM COZIMENTOS KRAFT

TIM RUDOLF WEHR

Aprovada em: 19.04.1991

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo

ESALQ/USP

Prof. Dr. José Mangolini Neves

IPT

Prof. Dr. Nadir de Almeida Glória

ESALQ/USP

PROF. DR. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO
Orientador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui meus sinceros agradecimentos a importantes contribuições recebidas durante a execução deste trabalho:

À Adilson Joaquim Leite de Campos e Edinilson Roberto Davanzo, pela paciência e dedicação demonstradas na execução de inúmeros cozimentos e análises químicas.

À José Rossi por ter tornado possível a amostragem e picagem da madeira nas condições necessárias para este trabalho.

Ao Dr. Silvio Rachid por ter possibilitado e apoiado a execução deste trabalho junto à RIPASA S.A. Celulose e Papel.

À Milton Ribeiro e Álvaro Garcia, pelo auxílio na confecção das figuras.

Ao Professor Dr. Claudio Costa pelo auxílio na redação do summary.

Ao Professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichello, pela orientação segura e pela lição de profissionalismo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. O <i>Eucalyptus grandis</i> Para a Produção de Celulose e Papel	4
2.2. Densidade Básica	6
2.3. Características das Fibras	8
2.4. Características Químicas da Madeira	10
2.5. Dimensões dos Cavacos	13
2.6. Picagem dos Cavacos	17
2.7. Classificação dos Cavacos	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Material	22
3.2. Métodos	25
3.2.1. Picagem e classificação de cavacos ..	25
3.2.2. Densidade básica da madeira e densidade de empacotamento	27
3.2.3. Dimensões das fibras	28
3.2.4. Análises químicas da madeira	29
3.2.5. Cozimentos experimentais	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

	Página
4.1. Picagem e Classificação de Cavacos	34
4.2. Densidade Básica	37
4.3. Dimensões das Fibras	39
4.4. Análises Químicas da Madeira	43
4.5. Cozimentos Experimentais	49
4.5.1. Rendimento e teor de rejeitos	50
4.5.2. Sólidos orgânicos no licor negro	64
4.5.3. Viscosidade e número KAPPA	69
5. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribuição dos cavacos nas classes de espessura.	35
2	Teores de extrativos totais para classes de espessura dos cavacos.	47
3	Teores de lignina total para classes de espessura dos cavacos.	47
4	Teores de holocelulose para classes de espessura de cavacos.	48
5	Rendimento bruto nos cozimentos com número KAPPA 18.	52
6	Teor de rejeitos nos cozimentos com número KAPPA 18.	53
7	Número KAPPA nos cozimentos ao mesmo nível de deslignificação total.	54
8	Rendimento depurado nos cozimentos com número KAPPA 18.	55
9	Rendimento bruto em cozimentos com madeira do tipo A.	61

Figura		Página
10	Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo A.	61
11	Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo A.	62
12	Rendimento bruto nos cozimentos com madeira do tipo D.	62
13	Rendimento depurado nos cozimentos com madeira do tipo D.	63
14	Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo D.	63
15	Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida em cozimentos com número KAPPA 18.	65
16	Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo A.	66
17	Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo D.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Dimensões das fibras de <i>Eucalyptus grandis</i> .	9
2	Composição química de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	11
3	Classes de espessura dos cavacos.	26
4	Condições empregadas nos cozimentos.	31
5	Cargas de alcali empregadas para as madeiras dos tipos A e D em cozimentos com diferentes níveis de deslignificação.	32
6	Porcentagem de cavacos retidos nas classes de espessura.	35
7	Densidade básica dos cavacos classificados por espessura (g/cm^3).	38
8	Densidade de empacotamento (t/m^3).	38
9	Dimensões das fibras dos diferentes tipos de madeira.	40
10	Relações entre dimensões de fibras.	41
11	Resultados das análises químicas para os diferentes tipos de madeira.	44

Tabela		Página
12	Análises químicas da madeira para as classes de espessura dos cavacos.	46
13	Rendimento bruto nos cozimentos com número KAPPA 18.	50
14	Rendimento depurado nos cozimentos com número KAPPA 18.	51
15	Teor de rejeitos base madeira os cozimentos com número KAPPA 18.	53
16	Número KAPPA para os cozimentos ao mesmo nível de deslignificação total.	54
17	Participação porcentual dos rejeitos provenientes de cada classe de cavacos no total de rejeitos dos cozimentos com número KAPPA 18.	57
18	Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo A.	58
19	Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo D.	58
20	Rendimento bruto em cozimentos com madeira do tipo A.	59

Tabela		Página
21	Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo A.	59
22	Rendimento bruto em cozimento com madeira do tipo D.	60
23	Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo D.	60
24	Sólidos orgânicos gerados a partir de cada classe de cavacos nos cozimentos com número KAPPA 18. (kg sólido/kg celulose depurada).	66
25	Sólidos orgânicos gerados em relação a quantidade de celulose produzida com madeira do tipo A. (kg/kg).	67
26	Sólidos orgânicos gerados em relação a quantidade de celulose produzida com madeira do tipo D (kg/kg).	68
27	Viscosidade da celulose para os cozimentos com número KAPPA 18.	69
28	Viscosidade da celulose obtida a partir das frações de cavacos para madeira do tipo A. .	71
29	Viscosidade da celulose obtida a partir das frações de cavacos para a madeira do tipo D.	71

Tabela	Página
30 Número KAPPA da celulose obtida a partir das frações de cavacos com madeira do tipo A. ..	72
31 Número KAPPA da celulose obtida a partir das frações de cavacos com madeira do tipo D. ..	72

VARIAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE
Eucalyptus grandis HILL EX MAIDEN E SUAS INFLUÊNCIAS
NA QUALIDADE DE CAVACOS EM COZIMENTOS KRAFT

Autor: Tim Rudolf Wehr

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo

RESUMO

Foram selecionadas 4 qualidades de madeira bastante distintas da espécie *Eucalyptus grandis* a partir de fornecimentos diferentes no abastecimento de uma fábrica de grande porte na região sudeste do Brasil. A procedência de sementes, clima, solo, local, idade e manejo florestal variaram entre os fornecimentos.

As amplas variações verificadas na densidade básica e na composição química, entre os tipos de madeira selecionados, conduziram a diferenças acentuadas nos rendimentos, no consumo de alcali, no teor de sólidos do licor negro e nos teores de rejeitos, em cozimentos experimentais com número kappa igual a 18. As dimensões das fibras e a viscosidade da celulose, indicam diferenças no processamento das polpas.

Em picador de disco industrial os tipos de madeira de maior densidade básica geraram maiores quantidades de cavacos de maior espessura.

Cavacos de diferentes espessuras mostraram diferenças na densidade básica na composição química e consequentemente nos resultados em cozimentos, quando processados simultaneamente. Os cavacos com espessura entre 2 e 6 milímetros sempre conduziram aos melhores resultados independente do tipo de madeira.

VARIATIONS IN THE WOOD CHARACTERISTICS OF
Eucalyptus grandis HILL EX MAIDEN AND ITS INFLUENCES
ON THE CHIP QUALITY IN KRAFT COOKINGS

Author: Tim Rudolf Wehr

Adviser: Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo

SUMMARY

Four very distinct wood qualities from the *Eucalyptus grandis* species were selected from different suppliers of a big pulp mill in Southwest Brasil. The seed origin, climate, soil, site, tree age and forest management were variable among the suppliers.

The great variations in the specific gravity and in the chemical composition among the kinds of wood conducted to big differences in yield, alkali consumption and rejects percentage in experimental cookings for KAPPA number 18. The fiber dimensions and the viscosity of the cellulose point out to differences in the processing of the pulp.

In an industrial disk chipper the wood kinds with the highest specific gravity gave increased amounts of chips with higher thickness.

Chips of different thicknesses showed differences in the specific gravity, in the chemical composition

and consequently in the cooking results, when simultaneously cooked with the same liquor. Chips with 2 to 6 millimeters in thickness ever gave the best results independently on the wood kind.

1. INTRODUÇÃO

Na região sudeste do Brasil, a escassez de madeira de eucalipto para celulose tem se agravado a cada ano, em decorrência da falta de um planejamento adequado de investimentos em reflorestamento por parte de algumas empresas, e também devido à falta de uma política de fomento florestal.

A situação deverá se agravar com a implantação de grandes projetos de expansão da indústria de celulose e papel, que prevê a duplicação da capacidade produtiva do país até 1995.

Também é previsível para os próximos anos, que muitas empresas de grande porte continuem dependendo da compra de madeira, ou que até incrementem o consumo de madeira produzida por terceiros.

A situação pode conduzir a intensas elevações no preço da madeira, e obriga as empresas a consumirem madeira a raios de transporte cada vez maiores. As possibilidades de se selecionar a madeira comprada, quanto aos seus aspectos de qualidade, ficam cada vez mais restritos.

A qualidade da madeira é definida com base nos resultados obtidos no processo de obtenção de celulose, in-

cluindo rendimentos e produtividade, custos de produção, qualidade e valor do produto final. Portanto ao se definir uma qualidade ótima da madeira deve-se considerar as condições do processo envolvido e as características pretendidas para o produto final.

Na produção de celulose e papel, além do interesse por madeira com os melhores aspectos de qualidade, é de grande importância que as variações nesta qualidade sejam mínimas para que sejam evitados distúrbios no processo e para que possam ser garantidos padrões homogêneos no produto final.

No entanto, as variações na qualidade da madeira consumida para a produção de celulose podem ser intensas, mesmo quando se considera uma mesma espécie, como é o caso do *Eucalyptus grandis*.

As variações na qualidade da madeira de eucalipto no Brasil são causadas principalmente por diferenças na procedência de sementes, clima, solo, técnicas de manejo florestal, e também pela facilidade de hibridação.

Partindo-se da situação em que fábricas acabam sendo obrigadas a consumirem madeira com intensas variações de qualidade, torna-se de grande valor prático o conhecimento das implicações destas variações no processo de produção de celulose.

Os objetivos deste trabalho consistiram em:

- a. Ampliar os conhecimentos sobre a variabilidade da qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas impli-

cações na obtenção de celulose.

- b. Verificar alguns recursos práticos disponíveis na picagem e classificação de cavacos, que possibilitem reduzir a influência das variações na qualidade da madeira para a produção de celulose.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O *Eucalyptus grandis* Para a Produção de Celulose e Papel

Nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná, responsáveis por cerca de 80 por cento de celulose de fibra curta produzida no Brasil, a quase totalidade provém do eucalipto.

Segundo BUSNARDO *et alii* (1978), o *Eucalyptus grandis* é uma espécie que apresenta um desenvolvimento excepcional em regiões sub tropicais. A alta qualidade da celulose e a facilidade de se obter sementes puras, tornam esta espécie a mais plantada e conhecida. Contudo a introdução indiscriminada em regiões ecologicamente inadequadas conduziu, em muitos casos, ao desenvolvimento precário da espécie e a problemas graves, como o cancro.

O *Eucalyptus grandis*, além de apresentar uma alta produtividade com elevados incrementos volumétricos por hectare, ainda apresenta ramificações finas, uma boa desrama natural, baixos teores de casca e características de polpação excelentes.

Estudos comparativos efetuados com diversas espécies de eucalipto, introduzidas no Brasil, sempre indicaram o *Eucalyptus grandis* como uma espécie com características tecnológicas muito boas para a produção de celulose e papel.

PEREIRA (1969) em um estudo pioneiro, indicava o *Eucalyptus grandis* como uma importante matéria prima fibrosa para a produção de celulose e papel, tendo verificado um rendimento depurado de 54,4 por cento, um baixo consumo de reagentes químicos e boas propriedades físico-mecânicas da celulose.

HIGGINS (1977) discutindo aspectos de espécies de eucalipto voltados à produção de celulose, apresenta o *Eucalyptus grandis* como potencial para o Brasil, porém faz ressalvas a eventuais problemas que podem ocorrer, com esta espécie, pela presença de elevados teores de extrativos.

FOELKEL (1974) em um estudo compreendendo 8 espécies de eucalipto, verificou que a espécie *Eucalyptus grandis*, embora não tenha apresentado os melhores rendimentos depurados volumétricos, apresentou os melhores rendimentos gravimétricos junto com *Eucalyptus saligna* em cozimentos com diferentes níveis de deslignificação.

PACINI (1978) verificou valores de densidade básica entre 0,40 e 0,55 g/cm³ para o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* e considera esta faixa bastante adequada para a produção de celulose de boa qualidade. Além disto, as características das fibras e a composição química de madeira

para estas espécies levaram a altos rendimentos e boas propriedades físico-mecânicas da celulose produzida a partir de cozimentos experimentais.

GONZAGA *et alii* (1983) concluem que o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna*, mesmo apresentando uma densidade básica baixa, são as melhores espécies de celulose, devido aos seus elevados incrementos médios anuais em m³ estéreo/ha. Além disto estas espécies seriam as mais viáveis por apresentarem os mais baixos teores de casca, entre treze espécies de eucalipto estudadas.

Na fabricação de papel, a celulose de eucalipto apresenta grande importância e possibilita uma aplicação em grande escala em diversas qualidades de papel. Em alguns aspectos a celulose de eucalipto pode inclusive apresentar vantagens em relação à celulose de fibra longa, devido à sua boa formação, alta opacidade e volume específico aparente elevado (RIBEIRO, 1976).

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

2.2. Densidade Básica

A densidade básica da madeira é considerada como um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira.

A densidade básica está relacionada com outros aspectos de qualidade da madeira como as dimensões das fibras, teores de vasos, parênquima e extrativos da madeira (FOELKEL, 1978). Este autor define limites ideais para a densidade básica da madeira de eucalipto para celulose, entre 0,450 e 0,650 g/cm³. Madeiras muito leves levam à redução do rendimento volumétrico em celulose, enquanto madeiras pesadas apresentam dificuldades na picagem e impregnação, consomem quantidades elevadas de reagentes, levam a baixos rendimentos gravimétricos e elevados teores de rejeitos.

A madeira de *Eucalyptus grandis* pode apresentar grandes variações na densidade básica como ficou demonstrado em diversos trabalhos. As variações ocorrem entre plantios, por influência de procedência de sementes, características locais, idade e técnicas silviculturais empregadas (MENDES *et alii*; FERREIRA *et alii*, 1978; ZOBEL *et alii*, 1983; FOELKEL, 1978; TAPPI, 1962).

Dentro dos plantios também podem ocorrer variações na densidade básica, tanto entre árvores como também dentro das árvores nos sentidos base-topo e medula-casca. (BARRICHELO & BRITO, 1977; FERREIRA *et alii*, 1978; FOELKEL *et alii*, 1983).

A dependência entre a densidade básica da madeira e o rendimento em cozimentos Kraft deve ser considerada com cautela segundo FOELKEL (1974). Embora sejam apresentadas relações bem definidas em alguns trabalhos, estas relações não deveriam ser generalizadas, quando se conside-

ra o rendimento baseado no peso da madeira. Já quando se considera como base o volume de madeira, pode-se afirmar que densidades básicas mais elevadas conduzem a maiores rendimentos em celulose.

Contudo a densidade básica por apresentar alta correlação com as resistências mecânicas da madeira pode influenciar as dimensões dos cavacos na picagem (Mc GOVERN, 1979).

Segundo DIAS (1985) a viscosidade da celulose produzida a partir de madeiras de maior densidade básica é inferior quando se considera um mesmo grau de deslignificação.

2.3. Características das Fibras

A madeira de *Eucalyptus grandis* possui um elevado teor volumétrico de fibras e fibrotraqueídeos, compreendendo entre 52 a 72 por cento da madeira (HILLIS, 1978).

As características e dimensões das fibras são bastante variáveis na madeira de *Eucalyptus grandis*, da mesma forma como ocorre com a densidade básica da madeira.

Alguns valores de referência para as dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis* com 5 e 7 anos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis*.

DIMENSÕES	I D A D E	
	5 ANOS	7 ANOS
Comprimento (mm)	1,1	0,98
Largura (μm)	18,1	23,9
Espessura de paredes (μm)	4,6	3,3
Diâmetro de lumens (μm)	9,0	17,3

FONTE: FOELKEL (1978/1983).

A espessura de paredes aliado ao diâmetro das fibras, podem indicar a participação das paredes no volume das fibras. Algumas relações entre estas dimensões são consideradas parâmetros de qualidade de importância prática, como é o caso da fração parede, índice de Runkel e fração volumétrica de paredes. Estes parâmetros em geral apresentam uma alta correlação com a densidade básica da madeira, sendo responsáveis por cerca de 60% de sua variabilidade (HILLIS, 1978).

Os diâmetros das fibras e de seus lumens, aliados à espessura das paredes conferem importantes características às fibras para a fabricação de papel. Estas dimensões estão relacionadas com a capacidade de colapsamento ou conformabilidade lateral das fibras (VAN BUIJTENEN, 1969; GIERTZ, 1989).

De uma maneira geral, paredes delgadas combinadas com maiores diâmetros de fibras são encontrados em madeiras de menor densidade. As fibras com estas caracterís-

ticas são mais suscetíveis ao colapso, favorecendo as ligações entre fibras e ainda apresentam uma maior facilidade de refino na fabricação de papel. O papel apresenta maiores valores de resistência à tração e ao estouro e maior resistência à passagem de ar.

Já os papéis fabricados com fibras de menor diâmetro e maior espessura de paredes, em geral levam a melhores resultados de resistência ao rasgo e uma maior opacidade (HIGGINS, 1978; GIERTZ, 1989 e VAN BUIJTENEN, 1989).

Segundo FOELKEL (1978), índices de Runkel superiores a 1,5 ou frações parede maiores do que 60% são desaconselháveis para a fabricação de papel, embora a resistência ao rasgo possa ser favorecida.

O comprimento de fibras é um parâmetro que apresenta variações menos intensas e de menor importância para o *Eucalyptus grandis*. Contudo foi verificado uma alta correlação entre o comprimento de fibras e a densidade básica da madeira por BARRICHELO *et alii* (1983).

2.4. Características Químicas da Madeira

A composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* já foi objeto de inúmeros estudos. Alguns dados de referência são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da madeira de *Eucalyptus grandis*.

IDADE	SOLÚVEL EM		TEOR EM (%)			
	ÁGUA QUENTE	ÁLCOOL/ BENZENO	CELULOSE	LIGNINA	PENTOSANAS	CINZAS
5	1,2	1,8	56,4	27,0	---	0,4
7	3,2	2,6	55,0	26,2	17,3	---

FONTE: D'ALMEIDA (1988).

A composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* pode apresentar intensas variações, de maneira semelhante como as que ocorrem com a densidade básica ou com as dimensões de fibras.

Alguns autores verificaram uma correlação positiva entre o teor de lignina, e negativa entre o teor de holocelulose e a densidade básica da madeira (BARRICHELO & BRITO, 1977; DIAS, 1985; FOELKEL, 1978).

Segundo FOELKEL (1978) o teor de lignina, bem como o teor de extrativos da madeira tendem a aumentar em madeira mais velha (acima de 15 anos).

Os extrativos da madeira de eucalipto podem contribuir para a elevação dos valores da densidade básica da madeira. Contudo, para teores reduzidos, são incertas as correlações com a densidade básica.

A composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* pode apresentar intensas variações entre e dentro das árvores como verificaram BARRICHELO & BRITO (1977); e

BARRICHELO *et alii* (1983).

HIGGINS & HILLIS (1978) atribuem grande importância aos extrativos da madeira de eucalipto nos processos de polpação. Além de atingirem teores elevados, os extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* apresentam uma composição, que pode ser bastante prejudicial na fabricação de celulose.

Os extrativos contribuem para o consumo de reagentes na polpação e contribuem para a redução do rendimento em celulose. O ácido elágico bastante comum nos extrativos do *Eucalyptus grandis* forma complexos com metais como o cálcio levando à formação de incrustações em trocadores de calor e evaporadores. Além disto os complexos podem causar problemas de cor na celulose dificultando o branqueamento. A presença de extrativos contribui para a elevação da viscosidade do licor negro na evaporação (HIGGINS, 1978).

D'ALMEIDA (1988) ainda ressalta a importância dos extrativos na polpação, por dificultarem a impregnação da madeira e favorecerem a condensação da lignina o que dificulta a sua solubilidade. Na fabricação de papel os extrativos são os principais responsáveis pela formação de depósitos conhecidos por "pitch".

A composição química da madeira é no final de grande importância para os resultados de polpação, como o consumo de reagentes, rendimento em celulose e quantidade de sólidos gerados no licor negro.

BARRICHELO *et alii* (1983) demonstraram uma alta correlação entre o teor de holocelulose da madeira e o rendimento em celulose a partir de cozimentos Kraft.

Contudo o rendimento depende do grau de deslignificação atingido no cozimento (FOELKEL, 1974).

2.5. Dimensões dos Cavacos

As dimensões dos cavacos são de fundamental importância para que ocorra uma distribuição homogênea e impregnação efetiva dos agentes químicos de polpação ao interior da madeira.

Uma distribuição efetiva e rápida dos agentes químicos no interior da madeira assegura reações homogêneas durante o cozimento e conseqüentemente uma alta qualidade da celulose produzida (FOELKEL, 1978).

Quanto menores forem as dimensões dos cavacos, maior será a superfície da madeira exposta ao licor, o que favorece a impregnação.

Trabalhos efetuados com madeira reduzida a dimensões muito pequenas, realmente conduziram a resultados favoráveis em cozimentos Kraft de laboratório. Especialmente a utilização de madeira na forma de fitas (FOELKEL, 1978) ou cavacos produzidos em picador de laboratório (LIGHFOOT & PREMONT, 1962), resultaram em elevados rendimentos em celulose com baixos consumos de reagentes químicos produzindo uma polpa de alta qualidade.

A fragmentação excessiva da madeira, porém, pode conduzir a prejuízos nos resultados de polpação, como demonstrou COUTO (1979). Em cozimentos efetuados com madeira na forma de serragens ou palitos, foram alcançados rendimentos mais baixos e uma qualidade inferior da celulose produzida, do que quando se utilizavam cavacos convencionais.

A utilização de cavacos pequenos em muitos casos apresenta limitações na prática. Cavacos muito pequenos requerem uma manutenção mais frequente e cuidadosa dos picadores. O desgaste das peças do picador pode ser intenso. Na picagem e manuseio de cavacos, são geradas quantidades maiores de finos e pó. A densidade de empacotamento menor implica em menor capacidade de carga dos digestores. A circulação de licor de cozimento pode ser prejudicada ao ponto de dificultar o cozimento. Ainda podem ocorrer obstruções nas peneiras de circulação de licor no interior dos digestores (FOELKEL, 1978).

Os requisitos dimensionais dos cavacos dependem do processo empregado e das características da madeira, e já foram objeto de inúmeros estudos. BACKMAN (1946), efetuou um dos trabalhos pioneiros e estudou a importância das três dimensões básicas de cavacos paralelepipedais com as faces dispostas nos três planos de orientação da madeira. Ficou demonstrado a maior importância da espessura dos cavacos no processo Kraft.

A impregnação dos cavacos ocorre basicamente pelos fenômenos de penetração e difusão. A predominância de

cada um destes fenômenos influenciam na eficiência da impregnação e são governados por características da madeira e de processo como: teor de umidade dos cavacos, características anatômicas da madeira, temperatura de cozimento, concentração do licor (FOELKEL, 1977; HATTON & KEAYS, 1972 E 1973; WARDROP & DAVIES, 1961; STAMM, 1964; HARTLER, 1962). O fenômeno da difusão é no final considerado como o mais importante na impregnação de cavacos, podendo atingir velocidades consideráveis nas condições usuais de cozimento (TALTON & CORNELL, 1987).

A difusão dos agentes químicos ocorre praticamente na mesma velocidade para as três direções estruturais da madeira (longitudinal, transversal e radial) em condições alcalinas de processo com pH acima de 12,9 (D'ALMEIDA, 1988; TALTON & CORNELL, 1987). O fato explica a maior importância da espessura dos cavacos, que normalmente é destacadamente a menor dimensão, definindo as menores distâncias a serem percorridas pelos agentes químicos para uma impregnação efetiva (FARKAS, 1965; AKHTARUZZAMAN, 1980).

São inúmeros os trabalhos em que se procura 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, implicando na utilização de maiores cargas alcalinas, que por sua vez conduzem a rendimentos mais baixos e prejudicam a qualidade da celulose.

A uniformidade das dimensões dos cavacos também é de grande importância para os resultados dos cozimentos e qualidade de celulose. Quanto mais uniformes forem as dimensões e principalmente a espessura, mais homogêneas serão as condições de impregnação e deslignificação, possibilitando o emprego de condições mais brandas com menores dosagens de reagentes, o que favorece os resultados (SCHMIED, 1964; FARKAS, 1965).

O comprimento e a largura dos cavacos também tem sua importância na produção de celulose pois têm influência sobre a densidade de empacotamento dos cavacos, além de contribuírem para a impregnação (HARTLER, 1972; BUSNARDO & FOELKEL, 1979). No entanto, a importância destas dimensões tem sido colocada em segundo plano, frente à importância comprovada da espessura dos cavacos no processo Kraft.

Devido à existência de correlação positiva entre o comprimento e a espessura dos cavacos produzidos em picador de disco, muitas fábricas tem optado pela utilização de cavacos curtos com 15 milímetros de comprimento ou até menos, garantindo, desta forma espessuras menores (HARTLER & STADE, 1979).

Alguns autores tem idealizado os cavacos com o maior comprimento possível aliado à menor espessura pos-

sível, para o processo Kraft. Desta maneira seria evitado uma baixa proporção de madeira danificada em sua estrutura por ação das facas e contrafacas no picador.

MIRANDA & BARRICHELO (1990) demonstraram que a espessura ideal dos cavacos depende da espécie da madeira utilizada. Demonstrou-se 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*.

2.6. Picagem de Cavacos

A redução de toras em cavacos por picadores de disco, ocorre quando as facas do picador penetram como cunhas na madeira, cortando as fibras no sentido transversal, fatiando as toras.

Com a penetração das facas na madeira são gerados esforços mecânicos de compressão, cisalhamento e fendilhamento. Estes esforços são progressivos, e a medida que atingem os limites de resistência da madeira causam rompimentos no sentido paralelo às fibras, definindo a espessura dos cavacos.

A espessura dos cavacos, no final depende das características geométricas de disposição das peças do picador, combinado com as características mecânicas da madeira (McLAUHLAN & LAPOINTE, 1979).

A disposição geométrica das peças do picador que tem influência sobre a espessura dos cavacos compreende principalmente: a inclinação da bica alimentadora em relação à superfície do disco, o ângulo de afiação das facas, a inclinação das faces frontal e oposta das facas em relação à superfície do disco e a altura das facas (McLAUCHLAN & LAPOINTE, 1979; HARTLER, 1986).

Em alguns casos, ajustes no picador possibilitam o controle independente das dimensões dos cavacos, podendo-se controlar a espessura dos cavacos, dentro de certos limites, sem que sejam necessárias alterações no comprimento dos cavacos. Contudo, na maioria dos picadores industriais estes recursos são bastante limitados (DON, 1989; NELSON & BAFILE, 1989).

Uma vez definidos os parâmetros operacionais de um picador, as variações nas dimensões dos cavacos são de grande importância na definição de qualidade dos cavacos. Estas variações dependem de condições de manutenção e da forma e homogeneidade de alimentação do picador (HARTLER, 1986; KJERLUF & JONSSON, 1988; HORNG, 1986).

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.

Mc GOVERN (1979) acredita que as variações nas dimensões dos cavacos estão relacionadas com as variações na

qualidade da madeira inclusive entre ou até dentro das toras.

Sempre que possível deve se implementar programas de manutenção e efetuar investimentos no picador visando atingir uma maior uniformidade das dimensões e qualidade dos cavacos na picagem (LANCASTER, 1987).

2.7. Classificação de Cavacos

Esgotadas as possibilidades de controle das dimensões dos cavacos e de sua uniformidade no picador, podem ser alcançadas melhorias complementares na qualidade dos cavacos através da classificação (BARNES, 1979).

A remoção de finos, pó e cavacos superdimensionados, melhoram sensivelmente a homogeneidade das dimensões dos cavacos, o que implica em ganhos na produção de celulose como:

- redução do consumo de reagentes;
- aumento no rendimento em celulose;
- redução no teor de sólidos do licor negro;
- redução no teor de rejeitos;
- menor degradação da celulose,

(BRISCOE, 1985; AXEN, 1983; CHRISTIE, 1987; KLEPPE, 1987).

Normalmente, os ganhos alcançados com a classificação de cavacos compensam os investimentos e custos operacionais dos sistemas de classificação com muita folga (BRISCOE, 1985; AXEN, 1983).

Os cavacos superdimensionados, em geral, são repicados de maneira a atenderem às especificações do processo e são reincorporadas aos cavacos classificados. Desta maneira são evitados ao máximo, as perdas de madeira.

Os sistemas de classificação de cavacos tem evoluído rapidamente nos últimos anos, acompanhando a necessidade de um aproveitamento cada vez melhor da madeira.

Os primeiros sistemas de classificação utilizavam exclusivamente peneiras giratórias efetuando a classificação dos cavacos por tamanho. Neste sistemas o controle da espessura dos cavacos se limitava à relação existente entre o tamanho dos cavacos e a espessura. Mesmo quando eram refugadas quantidades elevadas de cavacos em função da furação das peneiras, não se garantiam os limites de espessura dos cavacos. A repicagem da grande quantidade de cavacos refugados danificava excessivamente os cavacos gerando quantidades elevadas de finos (BARNES, 1979; SMITH & JAVID, 1989).

Os modernos sistemas de classificação levam ao controle efetivo da espessura dos cavacos para o processo Kraft, com baixas perdas de madeira. Os repicadores também evoluíram e repicam os cavacos superdimensionados, reduzindo apenas a espessura com produção de quantidades reduzidas de finos e pó. Os sistemas são equipados com peneiras de discos para a separação de lascas e cavacos superdimensionados. Os palitos e finos podem ser separados por peneiras giratórias ou peneiras de membrana do tipo "Flip-Flow". Existem

ainda equipamentos para recuperar os cavacos muito pequenos e palitos dos finos e pó, oferecendo mais recursos para uma economia extrema de madeira, de maneira que apenas o pó e finos são refugados do sistema (VILLA, 1983, PARKER, 1983; CHRISTIE, 1987).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

A madeira utilizada para a execução deste trabalho era proveniente de abastecimento industrial.

Foram selecionados quatro lotes de tipos de madeira diferentes da espécie *Eucalyptus grandis*. Procurou-se cobrir uma ampla variabilidade na qualidade da madeira. Para isso inicialmente foi efetuado um levantamento de resultados obtidos em cozimentos experimentais e boletins de controle de processo e qualidade no processamento industrial.

Os lotes foram compostos a partir de amostras coletadas ao longo de um mês de abastecimento, e no final continham aproximadamente trinta estéreos de madeira.

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

LOTE A

Madeira com características pouco comuns, excelente para a produção de celulose, densidade básica considerada baixa (em torno de $0,400 \text{ g/cm}^3$). Na prática é de fácil cozimento, requerendo dosagens de alcali 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 minuto; período à temperatura máxima = 5 a 10 minutos).

Idade: 84 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 $0,430 \text{ g/cm}^3$). Na prática produz celulose branqueável de boa qualidade com dosagens de alcali em torno da média. Requer de 10 a 20 minutos de repouso à 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 - SP.

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 $0,500 \text{ g/cm}^3$). Na prática produz celulose branqueável de boa qualidade com dosagens de alcali ativo um pouco acima da média. Requer de 20 a 30 minutos de repouso à 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 $0,550 \text{ g/cm}^3$). Na prática emprega dosagens

de alcali 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.

3.2. Métodos

3.2.1. Picagem e classificação de cavacos

Amostras de toras, tomadas ao acaso, contendo aproximadamente 30 estéreos, para cada tipo de madeira, foram submetidas à picagem industrial.

O picador empregado é de fabricação de CARTHAGE-SINGLE. Trata-se de um picador de disco com 15 facas. O diâmetro do disco é 285 mm e as facas medem 760 milímetros de comprimento por 132 mm de altura e 12,8 mm de espessura. A rotação do disco é de 320 rpm sendo o acionamento efetuado por um motor elétrico de 915 c.v.. A capacidade nominal de picagem é de 200 ST/hora. A alimentação de toras se dá por gravidade através de uma bica que forma um ângulo de 38° com o disco. A descarga dos cavacos ocorre pela ação centrífuga do disco que é equipado com aletas periféricas. Os cavacos são lançados através de um tubo de descarga a um pátio de estocagem. Procurou-se alimentar o picador de ma-

neira uniforme simulando as condições normais de processo.

Amostras casualizadas de cavacos contendo o equivalente a 20 kg de madeira absolutamente seca foram coletadas na área de lançamento do pátio, previamente limpa. Após serem condicionadas ao ar até a secagem completa, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos.

Realizaram-se classificações dos cavacos por espessura e verificaram-se os aspectos voltados à distribuição quantitativa em classes de espessura.

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 de espessura especificados na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de espessura dos cavacos.

CLASSE	DIMENSÕES (mm)
I	$\leq 1,95$
II	2,00 - 3,95
III	4,00 - 5,95
IV	6,00 - 7,95
V	$\geq 8,00$

Os cavacos separados nas classes de espessura foram utilizados nas determinações de densidade básica, análises químicas da madeira e cozimentos experimentais.

3.2.2. Densidade básica da madeira e densidade de empacotamento

Foram efetuadas verificações de densidade básica da madeira dos cavacos subdivididos nas classes de espessura, descritas no item anterior. A metodologia empregada segue o princípio do máximo teor de umidade descrito por FOELKEL *et alii*, 1971. Para cada classe foram efetuadas cinco repetições.

A densidade básica média para cada tipo de madeira foi calculada pela média ponderada dos resultados obtidos nas frações, adotando-se as respectivas quantidades de madeira absolutamente seca verificadas na classificação como fatores.

Determinou-se também a densidade de empacotamento em laboratório. Para isto foram efetuadas pesagens em duplicata de cavacos secos ao ar acomodados em um volume de 2000 mililitros, utilizando-se um becker. O procedimento foi padronizado, buscando-se a acomodação natural dos cavacos, sem exercer pressão.

Os valores da densidade de empacotamento foram calculados após a determinação do teor de umidade da madeira, sendo expressos em toneladas absolutamente secos de cavacos por metro cúbico.

3.2.3. Dimensões das fibras

Foram efetuadas medições das dimensões das fibras para os quatro tipos de madeira à partir de material macerado pelo método nítrico-acético descrito por BARRICHELO & FOELKEL (1982). Os fragmentos de madeira submetidos à maceração eram provenientes de amostras casualizadas de cavacos.

Para cada tipo de madeira foram preparadas 10 lâminas com as fibras individualizadas, utilizando glicerina como dispersante e safranina como corante. Em cada lâmina foram selecionadas 10 fibras ao acaso para as medições.

Para as medições de comprimento utilizou-se um microscópio de projeção da Bausch Lomb, uma vez determinado o fator de conversão de medidas. As demais dimensões foram medidas em microscópio ótico convencional equipado com ocular de tambor micrométrico.

Foram determinadas as seguintes dimensões das fibras:

- Comprimento (mm)	-	(C);
- Largura (μm)	-	(L);
- Diâmetro do Lumen (μm)	-	(DL);
- Espessura das paredes (μm)	-	(E).

A partir das dimensões das fibras calcularam-se as relações entre as dimensões das fibras a seguir:

- índice de enfelhamento (I.E.)

$$(I.E.) = C/L$$

- Fração parede (F.P.)

$$F.P. = (2 E/L) 100$$

- Índice de Runkel (I.R.)

$$I.R. = 2 E/DL.$$

3.2.4. Análises químicas da madeira

Foram determinados os principais componentes químicos de madeira a partir de amostras de cavacos. As análises foram individualizadas para as frações de classificação por espessura descritas no item 3.2.1..

As amostras livres de casca foram convertidas em serragem conforme a metodologia descrita na norma TAPPI 264 com auxílio de um macro e um micromoinho WILLEY.

As análises de extrativos totais; lignina insolúvel e solúvel foram efetuadas em sequência analítica combinada compatível com as normas TAPPI e ABTCP. Os teores de holocelulose foram obtidos por diferença. As análises foram efetuadas com duas repetições.

Os teores de extrativos, lignina e holocelulose, 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.

3.2.5. 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 frações de classificação por espessura descritas no item 3.2.1. foram mantidas separadas 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.

A quantidade de caixas necessárias para separar os cavacos de cada classe de espessura variou em decorrência das quantidades verificadas na 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 a movimentação durante os cozimentos. Desta maneira procurou-se garantir que as condições de circulação de licor fossem as mais homogêneas possíveis entre os cavacos das diferentes classes de espessura.

Os cozimentos foram realizados em duas etapas descritas a seguir:

Na primeira etapa, os cozimentos a partir dos quatro tipos de madeira foram realizados com o objetivo de se atingir um mesmo grau de deslignificação (Número KAPPA entre 18,0 e 19,0). Inicialmente foram efetuados cozimentos preliminares para se definir as dosagens de alcali ativo necessárias. As condições de cozimento e as dosagens de alcali determinadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Condições empregadas nos cozimentos.

VARIÁVEL	TIPO DE MADEIRA			
	A	B	C	D
Alcali ativo como Na_2O (%) ¹	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

1 = Dosagem sobre o peso absolutamente seco de madeira.

Uma vez definidas as dosagens de alcali para os tipos de madeira, os cozimentos foram efetuados sem repetição devido à grande quantidade de análises envolvidas com a fragmentação dos resultados por classes de espessura de cavacos. No caso de incoerências nos resultados ou balanços de massa, efetuados para controle de erros experimentais, repetiu-se o cozimento integralmente.

Para a segunda etapa de cozimentos experimentais foram escolhidas as madeiras do tipo A e do tipo D, a partir dos quais se buscaram informações adicionais, empregando-se cargas de alcali variáveis.

Optou-se pelas madeiras dos tipos A e D em decorrência dos resultados alcançados na primeira etapa. Estes tipos de madeira apresentaram resultados extremos quanto a rendimentos em celulose e consumo de alcali para se atingir o mesmo nível de deslignificação.

Dadas as características distintas dos dois tipos de madeira selecionados, foram adotadas cargas de alcali diferentes de maneira que fossem alcançados teores de rejeitos totais variando entre 1,5 e 5,0 por cento. As cargas de alcali empregadas nesta segunda etapa são apresentadas na Tabela 5 e os resultados dos teores de rejeitos são discutidos no item 4.5.1.. As demais condições de cozimento foram mantidas idênticas àquelas empregadas na primeira etapa.

Tabela 5. Cargas de alcali empregadas para as madeiras dos tipos A e D em cozimentos com diferentes níveis de deslignificação.

TIPO DE MADEIRA	ALCALI ATIVO (%) ¹		
A	13	14	16
D	17	19	21

¹ = Dosagem em Na_2O sobre o peso absolutamente seco de madeira.

As análises dos cozimentos foram individualizadas para as frações de cavacos classificados por espessura. A metodologia empregada seguiu 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:

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

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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. 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 milímetros). A madeira do tipo D, com a maior densidade básica, apresentou maiores frequências de cavacos nas classes de maior espessura (Figura 1, Tabela 6).

Figura 1. Distribuição dos cavacos nas classes de espessura.

Tabela 6. Porcentagem de cavacos retidos nas classes de espessura.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹				
	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

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

As diferenças verificadas na classificação dos cavacos devem ter ocorrido pelos esforços mecânicos gerados na picagem das madeiras, de densidade diferentes em combinação com as próprias 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 recursos disponíveis para o controle das dimensões dos cavacos e de sua homogeneidade por ajustes no picador mostraram ser mais limitados para os tipos de madeira com maior densidade básica, uma vez que estas, naturalmente apresentaram uma maior frequência de cavacos espessos e ainda uma maior variabilidade da espessura.

4.2. 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 7.

Os resultados indicam que as variações que ocorrem na densidade básica, entre e dentro das árvores, por serem intensas e por implicarem em variações também nas resistências mecânicas da madeira, devem ter contribuído na definição das dimensões dos cavacos, conforme discutido por Mc GOUERN (1979).

A casualidade da variação nas dimensões dos cavacos, está portanto condicionada ao local de origem do cavaco dentro das toras, ou a toras diferentes.

Por outro lado, as intensas variações que ocorreram entre os tipos de madeira podem ser justificadas pelas diferentes condições de clima, solo e manejo dos plantios de origem. Deve se ressaltar que os tipos de madeira selecionadas cobriam a mais ampla variação na qualidade, verificada para o *Eucalyptus grandis* no abastecimento da fábrica fornecedora. As madeiras dos tipos extremos A e D podem ser consideradas como casos extremos pouco comuns no abastecimento.

Conforme descrito por FOELKEL (1978), as dimensões dos cavacos exercem uma importante influência sobre

a densidade de empacotamento.

As diferenças verificadas nas dimensões entre os tipos de madeira, não foram suficientes para afetar de maneira evidente a relação entre a densidade básica e a densidade de empacotamento (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Densidade básica dos cavacos classificados por espessura (g/cm^3).

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					MÉDIA ²
	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 - $\leq 1,95$; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - $\geq 8,00$.

2 = Média ponderada das densidades básicas verificadas para as classes de espessura, utilizando as respectivas quantidades de madeira seca da classificação como fatores.

Tabela 8. Densidade de empacotamento (t/m^3).

TIPO DE MADEIRA	DENSIDADE (t/m^3)	Db/De
A	0,180	2,21
B	0,202	2,14
C	0,231	2,11
D	0,251	2,28

Db = Densidade básica.

De = Densidade de empacotamento.

As variações notadas na densidade básica entre as classes de espessura dos cavacos são, no final, de grande importância, se forem considerados os aspectos voltados à impregnação. A madeira de maior densidade básica, por apresentar uma estrutura anatômica mais fechada e normalmente conter maiores quantidade de extrativos, apresenta maiores dificuldades na impregnação. O fato da madeira de maior densidade estar combinada com maiores espessuras de cavacos, implica em dificuldades ainda maiores na impregnação .

4.3. Dimensões das Fibras

Os resultados das medições de fibras para os quatro tipos de madeira são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Dimensões das fibras dos diferentes tipos de madeira.

DIMENSÕES	TIPO DE MADEIRA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Comprimento (mm)	A	1,16	0,200
	B	1,08	0,177
	C	1,09	0,199
	D	1,10	0,205
Largura (μm)	A	21,2	3,174
	B	20,6	3,122
	C	19,2	2,685
	D	19,0	3,313
Diâmetro do lumen (μm)	A	12,4	2,568
	B	11,7	2,782
	C	10,4	2,442
	D	9,5	2,737
Espessura de parede (μm)	A	4,4	0,833
	B	4,4	0,929
	C	4,4	0,639
	D	4,8	0,917

Os valores encontrados, embora apresentem diferenças entre os tipos de madeira, são concordantes com as dimensões apresentadas por FOELKEL (1978/1983), para o *Eucalyptus grandis* (Tabela 1).

A largura de fibras, e o diâmetro dos lumens foram menores e as espessuras de paredes maiores, para os tipos de madeira de maior densidade básica, concordando com as informações de literatura.

Para o comprimento das fibras, praticamente não ocorreram diferenças entre os tipos de madeira.

Segundo HIGGINS (1978), as variações no comprimento das fibras do eucalipto apresentam pouca importância prática na fabricação de celulose e papel, frente às variações que ocorrem na largura e na espessura das paredes das fibras.

As relações entre as dimensões das fibras são apresentadas na Tabela 10. Nota-se uma tendência de aumento do índice de enfeltramento do tipo de madeira de menor para o de maior densidade básica em decorrência das diferenças verificadas na largura das fibras. Contudo a madeira do tipo A, por ter um comprimento de fibras ligeiramente superior aos demais tipos de madeira, apresentou um índice um pouco acima ao da madeira do tipo B.

Tabela 10. Relações entre dimensões de fibras.

TIPO DE MADEIRA	ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO	FRAÇÃO PAREDE	ÍNDICE DE RUNKEL
A	55	41	0,710
B	52	43	0,752
C	57	46	0,846
D	58	50	1,010

Os valores de fração parede e do índice de RUNKEL, mostraram-se crescentes da madeira de menor para a

de maior densidade básica. Contudo, mesmo a madeira do tipo D apresentou um índice de RUNKEL inferior a 1,5, não apresentando portanto, limitação sob este aspecto, para a fabricação de celulose e papel, segundo FOELKEL (1978).

As diferenças verificadas na fração parede, índice de Runkol e índice de enfeltramento entre os diferentes tipos de madeira devem conferir características diferenciadas à celulose produzida, no que se refere ao processo envolvido na fabricação de papel.

As propriedades físico-mecânicas do papel produzido também devem sofrer influência das diferenças verificadas nas características das fibras.

As polpas produzidas a partir dos tipos de madeira de menor densidade básica, e que apresentaram os menores índices de Runkel e fração parede, são constituídas de fibras com uma maior conformabilidade lateral. Com isso, as fibras apresentam uma maior facilidade de refino e as ligações entre fibras são favorecidas, inclusive pela ocorrência de maiores áreas de contato.

A maior conformabilidade lateral das fibras aumenta a dificuldade na drenagem e desaguamento da celulose em prensas desaguadoras ou na formação de papel. O papel deverá apresentar maiores resistências à tração e ao estouro, porém menor volume específico aparente e menor opacidade (Van BUIJTENEN, 1969; GIERTZ, 1989).

Já as polpas produzidas a partir dos tipos de madeira de maior densidade básica, e que apresentaram maio-

res índices de Runkel e fração parede, indicam maiores limitações na conformabilidade lateral das fibras.

Embora as fibras com estas características apresentem maiores dificuldades de refino e desfavoreçam as ligações entre fibras, podem ser alcançados resultados positivos quando se depende de uma drenagem da celulose eficiente no processamento, ou quando é pretendido produzir papéis de alta opacidade ou alto volume específico aparente.

Embora maiores índices de enfieltramento favoreçam uma maior resistência ao rasgo, esta propriedade ainda depende das ligações entre fibras no caso de folhosas de fibra curta.

Com isso não se pode afirmar com certeza se o maior índice de enfieltramento verificado para os tipos de madeira de maior densidade básica conduz a maiores resistências ao rasgo.

4.4. Análises Químicas da Madeira

Os quatro tipos de madeira evidenciaram diferenças acentuadas em sua composição química, como pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 11. 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

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.

As madeiras dos tipos A, B e C apresentaram uma composição química condizente com os dados apresentados por D'ALMEIDA (1988), para *Eucalyptus grandis* com 5 e 7 anos de idade (Tabela 2 do Item 2.3.).

A madeira do tipo D apresentou teores de extrativos e de lignina mais elevados, podendo ter 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 problemas, já apresentados na revisão bibliográfica no Item 2.4..

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 os aspectos voltados às dimensões dos cavacos, que desfavorecem os tipos de madeira de maior densidade básica, a composição química justifica as maiores dificuldades verificadas por estes tipos de madeira na polpação (Item 4.5.).

Dentro de cada tipo de madeira, entre as classes de espessura dos cavacos, também foram notadas variações na composição química, conforme pode ser verificado na Tabela 12 e Figuras 2, 3 e 4. Entretanto, estas variações foram menores do que as verificadas entre os tipos extremos de madeira.

Tabela 12. Análises químicas da madeira para as classes de espessura dos cavacos,

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹	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	5,3	27,3	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

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

Figura 2. Teores de extrativos totais para classes de espessura dos cavacos.

Figura 3. Teores de lignina total para classes de espessura dos cavacos.

Figura 4. Teores de holocelulose para classes de espessura de cavacos.

De maneira geral, puderam ser notadas tendências de aumento do teor de extrativos e lignina e diminuição do teor de holocelulose, dos cavacos de menor para os cavacos de maior espessura.

As tendências na composição química da madeira acompanharam o aumento na densidade básica verificado, das classes de cavacos de menor espessura para as de maior espessura. A composição química da madeira desfavorece ainda mais os cavacos de maior espessura na polpação.

Algumas exceções às tendências mencionadas, entre classes de espessura dos cavacos, nas análises químicas se devem, entre outros, à precisão dos métodos analíti-

cos empregados. 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.

4.5. Cozimentos Experimentais

Os resultados dos cozimentos experimentais são de grande importância prática, pois nestes ensaios se chega mais próximo às condições encontradas na produção de celulose. Ao se executarem os cozimentos a partir dos quatro tipos de madeira, com o objetivo de se atingir um grau de deslignificação pouco variável, com número KAPPA na faixa de 18,0 a 19,0, foram requeridas dosagens de alcali ativo diferentes. As dosagens empregadas foram apresentadas na Tabela 4 no Item 3.2.5..

As diferenças nas dosagens requeridas podem ser explicadas principalmente pela composição química dos tipos de madeira (Item 4.4.).

Ao mesmo grau de deslignificação puderam ser evidenciadas diferenças entre os resultados médios dos quatro tipos de madeira. Dentro de cada tipo de madeira, entre as classes de espessura dos cavacos, também foram encontra-

das diferenças consideráveis nos resultados.

As diferenças verificadas nos cozimentos, entre tipos de madeira e entre classes de espessura dos cavacos são justificadas com base na composição química, densidade básica e ainda nas próprias dimensões dos cavacos, como já discutido nos Itens 4.1., 4.2. e 4.4..

4.5.1. 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 na Tabela 13 e 14.

Nota-se que, nos resultados médios globais ocorreu uma diferença em torno de 7 pontos porcentuais para o rendimento bruto e 8 pontos para o rendimento depurado entre as madeiras do tipo A e tipo D.

Tabela 13. Rendimento bruto nos cozimentos com número KAPPA 18.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					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

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

Tabela 14. Rendimento depurado nos cozimentos com número KAPPA 18.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					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

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

As classes II e III de espessura dos cavacos sempre levaram aos melhores rendimentos brutos e depurados dentro de cada cozimento, indicando que além 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 6.

As classes I e IV de espessura dos cavacos levaram a rendimentos brutos mais baixos do que os respectivos resultados médios globais, para os quatro tipos de madeira. Já a classes V apresentou resultados mais elevados do que a classe IV, conforme pode ser visto na Figura 5.

Figura 5. Rendimento bruto nos cozimentos com número KAPPA 18.

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 15 e 16; Figuras 6 e 7).

Figura 6. Teor de rejeitos nos cozimentos com número KAPPA 18.

Tabela 15. Teor de rejeitos base madeira os cozimentos com número KAPPA 18.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
A	0,2	0,3	2,3	4,1	20,4	1,4
B	0,1	0,2	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

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

Figura 7. Número KAPPA nos cozimentos ao mesmo nível de deslignificação global.

Tabela 16. Número KAPPA para os cozimentos ao mesmo nível de deslignificação global.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL ²
	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 - $\leq 1,95$; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 - 7,95; V - $\geq 8,00$.

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

FARKAS & JAROS (1965) discutem que o comportamento de cavacos com dimensões variáveis dentro de um mesmo cozimento, é diferente do que, quando os cavacos são processados separadamente em classes de dimensões. Na mistura de cavacos com diferentes dimensões o alcali é consumido em maior quantidade pelos cavacos pequenos e finos, sendo que nestas misturas os cavacos pequenos são cozidos melhor do que quando separados.

Na Figura 8, que apresenta o resultado dos rendimentos depurados, pode se notar, com mais clareza, os melhores resultados que foram alcançados pelas classes II e III, de espessura dos cavacos. Os rendimentos depurados da classe V foram os mais baixos dentro dos cozimentos.

Figura 8. Rendimento depurado nos cozimentos com número KAPPA 18.

Nos resultados médios globais, não pode ser notada nenhuma tendência definida, entre os tipos de madeira, para os teores de rejeitos dos cozimentos ao mesmo grau de deslignificação (Tabela 15). A madeira do tipo A apresentou um teor de rejeitos global superior à madeira do tipo B, mesmo apresentando características dos cavacos e composição química mais favoráveis para a polpação. O fato pode ser explicado em função da carga de alcali menor empregada para a madeira do tipo A, para atingir o mesmo número KAPPA.

Notou-se que ocorreu uma intensa elevação no teor de rejeitos para as classes IV e V de espessura de cavacos para os quatro tipos de madeira. Contudo, a curva dos teores de rejeitos da madeira do tipo A, apresentou valores elevados com um comportamento muito próximo à madeira do tipo D, conforme pode ser visto na Figura 6.

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 apresentaram contriuições elevadas para os resultados globais (Tabela 17).

Tabela 17. Participação porcentual dos rejeitos provenientes de cada classe de cavacos no total de rejeitos dos cozimentos com número KAPPA 18.

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹				
	I	II	III	IV	V
A	0,5	13,2	41,2	10,1	35,0
B	0,5	16,2	17,5	19,2	46,6
C	0,0	33,2	34,0	11,7	21,1
D	0,4	4,5	16,1	24,2	54,8

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

Quando se variou a carga de alcali em cozimentos com a madeira dos tipos A e D, de modo a se atingirem diferentes graus de deslignificação, estas apresentaram comportamentos diferentes.

Nas condições adotadas nos cozimentos onde apenas a carga alcalina variou, notou-se que a madeira do tipo A requereu dosagens de alcali muito inferiores às da madeira do tipo D, para que fossem atingidos os mesmos níveis nos teores de rejeitos gerais, na faixa de 1,5 a 5,0 por cento (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18. Teor de rejeitos em cozimentos com a madeira do tipo A.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
13	1,2	1,3	7,5	16,3	34,4	4,2
14	0,3	0,3	2,5	7,7	26,4	1,8
16	0,2	0,3	2,3	4,1	20,4	1,4

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

Tabela 19. Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo D.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
17	0,2	1,2	2,8	12,3	28,1	4,4
19	0,2	0,2	1,3	6,4	18,5	2,3
21	0,3	0,1	0,9	3,2	14,5	1,6

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

Com isso a madeira do tipo A mostrou ser mais apropriada para se atingirem bons resultados em cozimentos com deslignificação mais intensa.

Os rendimentos bruto e depurado alcançados pela madeira do tipo A foram muito superiores aos da madeira

do tipo D. O resultado mais elevado de rendimento depurado global alcançado com a madeira do tipo A foi 55,1 por cento, empregando 14 por cento de alcali ativo. Já para a madeira do tipo D o resultado mais elevado foi 44,6% com 19 por cento de alcali ativo (Tabelas 20 a 23).

Tabela 20. Rendimento bruto em cozimentos com madeira do tipo A.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
13	52,1	57,9	58,9	57,5	61,8	58,0
14	50,8	57,3	57,1	53,8	58,7	56,9
16	50,4	54,3	55,1	52,1	56,5	54,3

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

Tabela 21. Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo A.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
13	50,9	56,6	51,4	41,2	27,4	53,8
14	50,5	57,0	54,6	46,1	32,2	55,1
16	50,2	54,0	52,8	48,0	36,1	52,9

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

Tabela 22. Rendimento bruto em cozimento com madeira do tipo D.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
17	41,1	48,5	50,1	45,4	54,6	48,8
19	41,0	47,1	48,6	43,0	47,0	46,9
21	40,4	46,0	45,2	42,3	44,1	45,2

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

Tabela 23. Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo D.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
17	40,9	47,3	47,3	33,1	26,5	44,4
19	40,8	46,9	47,3	36,6	28,5	44,6
21	40,1	45,9	44,3	39,1	29,6	43,5

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

A variação das cargas de alcali não alterou as tendências que haviam sido verificadas nos cozimentos com número KAPPA 18, entre as classes de espessura dos cavacos (Figuras 9, a 14).

Figura 9. Rendimento bruto em cozimentos com madeira do tipo A.

Figura 10. Rendimento depurado em cozimentos com madeira do tipo A.

Figura 11. Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo A.

Figura 12. Rendimento bruto nos cozimentos com madeira do tipo D.

Figura 13. Rendimento depurado nos cozimentos com madeira do tipo D.

Figura 14. Teor de rejeitos em cozimentos com madeira do tipo D.

Os melhores rendimentos depurados sempre foram alcançados nas classes II e III de espessura de cavacos.

A todas as cargas de alcali empregadas, a classe V sempre apresentou elevados rendimentos brutos, que associados com altos teores de rejeitos, conduziram a baixos rendimentos depurados.

Com cargas de alcali mais baixas foram atingidos os rendimentos brutos globais mais elevados e também os maiores teores de rejeitos. Os melhores resultados de rendimento depurado global ocorreram com cargas de alcali definidas e intermediárias aos extremos testados. O fato de se atingirem os maiores rendimentos depurados a cargas de alcali bem definidas já havia sido observado por FOELKEL (1974).

Os cavacos com mais do que 6 milímetros de espessura apresentaram pouca participação na quantidade total de madeira e sempre conduziram a rendimentos depurados inferiores aos rendimentos globais dos cozimentos. Com isso, o limite de 6 milímetros deve ser considerado em estudos de viabilidade econômica para sistemas de classificação de cavacos por espessura.

4.5.2. 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 a capacidade

de queima de sólidos nas caldeiras de recuperação é que tem limitado a capacidade de 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 nas Tabelas 24 a 26 e nas Figura 15 a 17.

Figura 15. Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida em cozimentos com número KAPPA 18.

Tabela 24. Sólidos orgânicos gerados a partir de cada classe de cavacos nos cozimentos com número KAPPA 18 (kg sólido/kg celulose depurada).

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					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 - $\leq 1,95$; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 a 7,95; V - $\geq 8,00$.

Figura 16. Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo A.

Tabela 25. Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo A (kg/kg).

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
13	0,94	0,74	0,80	1,03	1,40	0,79
14	0,98	0,75	0,79	1,01	1,28	0,79
16	0,99	0,85	0,85	1,00	1,21	0,87

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

Figura 17. Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo D.

Tabela 26. Sólidos orgânicos gerados em relação à quantidade de celulose produzida com madeira do tipo D (kg/kg).

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					GLOBAL
	I	II	III	IV	V	
17	1,44	1,09	1,06	1,65	1,71	1,15
19	1,45	1,13	1,09	1,56	1,85	1,19
21	1,49	1,18	1,23	1,45	1,89	1,26

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

Nota-se que ocorreram diferenças acentuadas nos sólidos orgânicos gerados pelos diferentes tipos de madeira nos cozimentos com número KAPPA 18.

As variações nos sólidos gerados entre as classes de espessura, dentro de cada cozimento também foram intensas. Os melhores resultados sempre ocorreram nas classes II e III. Nas classes IV e V ocorreu uma intensa elevação na quantidade de sólidos gerados em relação às quantidades de celulose depurada produzidas. Os elevados teores de rejeitos que acompanharam a celulose produzida pelas classes IV e V, devem ter contribuído para a alta relação sólidos/polpa nestas classes. Embora os rejeitos não contribuam para a produção de celulose, pode ocorrer extração de quantidades apreciáveis de extrativos e lignina.

Cargas de alcali mais elevadas com a madeira do tipo A elevaram a relação sólido/polpa nas classes II e III e diminuíram a relação na classe V conforme pode ser

visto na Figura 16. O fato pode ser explicado devido ao cozimento mais completo dos cavacos de maior espessura com maior produção de celulose.

Para a madeira do tipo D, não ficou evidente a redução da relação sólido/polpa na classe V com o aumento da carga de alcali. Os cavacos muito espessos deste tipo de madeira devem ter uma maior dificuldade de cozimento. O incremento na produção de celulose a cargas de alcali mais elevadas, devido à redução dos elevados teores de rejeitos, deve ter sido compensada pela dissolução de materiais.

4.5.3. Viscosidade e número KAPPA

Nos cozimentos efetuados com mesmo número KAPPA, os tipos de madeira levaram a diferentes resultados de viscosidade da celulose, como pode ser visto na Tabela 27.

Tabela 27. Viscosidade da celulose para os cozimentos com número KAPPA 18. (centipoise)

TIPO DE MADEIRA	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹				
	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 - $\leq 1,95$; II - 2,00 a 3,95; III - 4,00 a 5,95; IV - 6,00 a 7,95; V - $\geq 8,00$.

A celulose produzida a partir da madeira do tipo A apresentou os maiores valores de viscosidade, enquanto a do tipo D levou aos resultados mais baixos.

Os tipos de madeira de maior densidade básica, além de terem apresentado maiores teores de lignina e extrativos, geraram maiores quantidades de cavacos mais espessos das classes IV e V, na picagem.

Uma maior heterogeneidade da espessura dos cavacos implica em uma impregnação menos homogênea. Nestes casos ocorre uma maior tendência à sobra de rejeitos nos cozimentos. Na prática esta tendência é contornada com a utilização de cargas de alcali mais elevadas, porém com o prejuízo de uma maior degradação da celulose com perdas na viscosidade.

Dentro de cada cozimento, de uma maneira geral, foi verificado o aumento da viscosidade e do número KAPPA acompanhando o aumento da espessura dos cavacos da classe I para a classe V (Tabelas 16, 27 a 31).

Tabela 28. Viscosidade da celulose obtida a partir das frações de cavacos para madeira do tipo A.

ALCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹				
	I	II	III	IV	V
13	47,4	48,8	51,9	50,0	51,2
14	35,2	36,9	38,4	38,3	40,8
16	28,9	31,0	29,6	30,1	34,2

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

Tabela 29. Viscosidade da celulose obtida a partir das frações de cavacos para a madeira do tipo D.

ALCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹				
	I	II	III	IV	V
17	19,9	22,4	25,5	27,2	27,7
19	19,5	20,4	21,2	23,0	26,7
21	18,5	18,9	19,1	19,8	21,1

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

Tabela 30. Número KAPPA da celulose obtida a partir das frações de cavacos com madeira do tipo A.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					MÉDIA ²
	I	II	III	IV	V	
13	24,2	25,1	28,4	31,2	34,0	26,4
14	19,9	20,2	21,7	24,7	30,1	21,1
16	17,4	17,3	19,7	19,8	24,2	18,3

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

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

Tabela 31. Número KAPPA da celulose obtida a partir das frações de cavacos com madeira do tipo D.

ÁLCALI ATIVO (%)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS ¹					MÉDIA ²
	I	II	III	IV	V	
17	18,0	16,5	20,0	23,7	26,3	18,7
19	17,0	16,2	19,8	21,3	25,1	18,2
21	15,6	15,2	17,7	20,6	21,8	16,7

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

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

Os cavacos de maior espessura que em geral também apresentam maior comprimento e largura, dispõe de uma menor área superficial por unidade de massa de madeira, para

a impregnação com o licor de cozimento. Este fato deve ter contribuído para um desbalanço na disponibilidade de alcali para os cavacos de diferentes espessuras, podendo explicar as tendências notadas no número KAPPA e viscosidade entre as classes de espessura dos cavacos, concordando com as informações apresentadas por SCHMIED (1964) e FARKAS (1965).

5. CONCLUSÕES

As variações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose podem ser intensas quando são consideradas diferenças ao nível de procedência de sementes, local, clima, solo, idade e técnicas de manejo florestal.

Entre os quatro tipos de madeira de *Eucalyptus grandis*, selecionados de maneira a cobrir uma ampla variação na qualidade, relativa aos aspectos práticos de produção de celulose, foram evidenciadas diferenças na densidade básica, composição química e dimensões das fibras.

As variações nos aspectos de qualidade da madeira conduziram a diferenças de até oito por cento no rendimento depurado em cozimentos com o mesmo grau de deslignificação (número KAPPA igual a 18). Considerando-se o caso comum no processamento industrial, em que a queima de sólidos do licor negro limita a produção de celulose, podem ocorrer variações com uma amplitude de até trinta por cento em torno da média de produção, em decorrência das variações na qualidade da madeira aqui estudadas.

As polpas produzidas a partir dos diferentes tipos de madeira devem apresentar diferenças importantes no

processamento para a produção de papel, por influência da viscosidade da celulose e das dimensões das fibras.

O teor de extrativos da madeira mostrou-se bastante variável entre os diferentes tipos de madeira indicando que dificuldades no processo como incrustações e "pitch" dependem da qualidade da madeira.

Na classificação dos cavacos, evidenciou-se a dependência entre a densidade básica e a espessura dos cavacos. A composição química da madeira também variou com a espessura dos cavacos. Com isso pode se afirmar que a repicagem dos cavacos superdimensionados não resolve integralmente os problemas causados por estes cavacos na produção de celulose. Deve-se, portanto considerar a possibilidade da eliminação de cavacos superdimensionados ou a utilização destes para fins diferentes como a queima para a geração de energia.

Independente do tipo de madeira, nas condições de picagem e de processo adotadas, os cavacos entre dois e seis milímetros de espessura, conduziram aos melhores resultados nos cozimentos.

No final, os tipos de madeira de maior densidade básica, e que apresentaram uma composição química mais desfavorável para a polpação, necessitam de maiores cuidados na picagem e classificação, o que possibilitará minimizar as variações entre diferentes qualidades de madeira. Porém, os tipos de madeira de maior densidade básica foram os que

indicaram menores possibilidades de controle, uma vez que conduziram a uma maior heterogeneidade da espessura dos cavacos na picagem e produziram maiores quantidades de cavacos de maior espessura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABTCP, São Paulo. Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel - Divisão de Normas e Especificações. São Paulo, 1985.
- AKHTARUZZAMAN, A.F.M. Influence of chip dimensions in kraft pulping - Predictive mathematical models. *Paperi ja puu*, Helsinki, 62(10): 607-614, 1980.
- 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.
- BARNES, E.T. Chip Screening. In: HATTON, J.V. *Chip quality monograph*. Vancouver, Tappi-pulp and paper technology series, 1979. cap. 4, p.71-90.
- BARRICHELO, L.E.G. & FOELKEL, C.E.B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. *Silvicultura*, São Paulo, 8(28): 732-3, jan./fev. 1983.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. & BAZANELLI, A.V. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3. São Paulo, 1983. *Anais*. São Paulo, ABCP,

1983. p.113-25.

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

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.

BUIJTENEN, J.P. van Relationships between wood properties and pulp and paper properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2. Washington, 1969. FAO, "s.n.t." 13p. (FO - FTB - 69 - 4/5).

BUSNARDO, C.A.; FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, 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. São Paulo, ABCP, 1978. p.191-7.

BUSNARDO, C.A. & FOELKEL, C.E.B. Impregnação dos cavacos de *Eucalyptus urophylla* pelo licor alcalino kraft durante o cozimento: Penetração. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 12. São Paulo, 1979. Anais. São Paulo, ABCP, 1979. p.75-82.

CHRISTIE, D. Chip thickness and it's effect on pulping needs further study. *Pulp and Paper Canada*, 87(9): 37-43. 1986.

- CHRISTIE, D. Status of thickness screening of wood chips. Lutra Enterprises. Vancouver, 1987. 8p.
- CHRISTIE, D. Chip screening for pulping uniformity. Tappi Journal, Atlanta, 70(4): 113-7, abr. 1987.
- COUTO, L.C. Influência da morfologia dos cavacos de madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida na qualidade da celulose kraft. Viçosa, 1979. 118p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- D'ALMEIDA, M.L.O. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. São Paulo, SENAI/IPI, 1981. 492p.
- DIAS, R.L. de V. & CLAUDIO-DA-SILVA JUNIOR, E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características e propriedades de polpação e do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 18. São Paulo, 1985. Anais. São Paulo, ABCP, 1985. p.031-56.
- DON, J.J.V. Cavacos de boa qualidade o resultado de uma adequada técnica de picagem e peneiramento. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 22. São Paulo, 1989. Anais. São Paulo, ABTCP, 1989. P.57-77.
- 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).
- FERREIRA, C.A. FREITAS, M. de & FERREIRA, M. A variação de qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. em função da idade e qualidade de local. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 11.

São Paulo, 1978. Boletim Informativo IPEF. Piracicaba, 6(20): B1-B19, 1978.

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. Química dos processos de produção de celulose; A penetração de licores de cozimento no interior da madeira. Viçosa, UFV/CENIBRA, 1977. 7p.

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. & COUTO, L.C. Celulose kraft de cavacos em forma de fitas para eucalipto. Belo Oriente, CENIBRA, 1978. 7p. (Cenibra pesquisa, 44).

FOELKEL, C.E.B. & ZVINAKEVICIUS, C. Dimensões das fibras de alguns eucaliptos tropicais. Belo Oriente, CENIBRA, 1978. 3p. (Cenibra pesquisa/matéria prima 73).

FOELKEL, C.E.B.; MILANEZ, A.F. & BUSNARDO, C.A. Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação de densidade básica da madeira do eucalipto. Silvicultura, 8(28): 792-6, 1983.

GIERTZ, H.W. Fundamentos de fabricação de papel. Itu, ABCP, mar. 1989. (apostila/curso).

GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A.; GOMIDE, J.L. & SCMITDT, C. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de eucalipto. In: CONGRESSO

LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3. São Paulo, 1983.
Anais. São Paulo, ABCP, 1983. P.7-29.

HARTLER, N. Chips for industrial use. FAO, "s.n.t." Sp.
(FO: TWC/72/25 - Agenda item III).

HARTLER, N. & STADE, Y. Chip specifications for various
pulping processes. In: HATTON, J.V. Chip quality mono-
graph. Vancouver, Tappi - pulp and paper technology
series, 1979, cap. 13, p.273-303.

HARTLER, N. Chipper design and operation for optimum chip
quality. Tappi Journal, Atlanta, 69(10): 62-66, oct.
1986.

HATTON, J.V. & KEAYS, J.L. Statistical analysis of chip
geometry and moisture on kraft pulp yield. Vancouver,
1972. 21p. (Information Report UP-X-88).

HATTON, J.V. & KEAYS, J.L. Effect of chip geometry and
moisture on yield and quality of kraft pulps from western
hemlock and black spruce. Pulp and paper magazine of
Canada, 74(1): 79-87. 1973.

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.

HILLIS, W.E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W.E.
& BROWN, A.G. Eucalyptus for wood production. Csiro,
National Library of Australia, 1978. cap. 12, p.259-89.

HORNG, A.J. Practical aspects of chipping for kraft pulp
production. Pulp and Paper Canada, 87(9): T349-T352.
1986.

- KJERLUF, E. & JONSSON, J.E. Disposable chipper knives increase woodroom uptime and give more consistent chip quality. *Pulp and Paper Canada*, 89(2): T53-T56. 1988.
- KLEPPE, P.J. Moss mill: positive result for chip screening progress in wood handling. *Paper*, Tonbridge, p. 17-8, ago. 1987. (TN9 1RW)
- LANCASTER, L.M. Roundwood processing - chip production. *Tappi Journal*, Atlanta, 70(8): 171-2. 1987.
- LIGHTFOOT, R.G. & PREMONT, P. The influence of size of anglo chips in pulping. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 63(C): T141-T144. 1962.
- 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.
- MENDES, J.C. ; SUITER FILHO, W. ; REZENDE, G.C. DE & MORAES, T.S. DE A. Variação da densidade básica de madeira em diversas procedências de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Silvicultura*, 8(32): 832-7, set/out 1983.
- MC LAUHLAN, 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 ANUEL DA ABTCP. São Paulo, 1990. *Anais*. São Paulo, ABTCP, 1990. p.1-34.

- NELSON, S.L. & BAFILE, P. Quinnesec woodyard focuses on chip thickness control at the chipper1 chip thickness. *Tappi Journal*, Atlanta, 72(3): 95-106. 1989.
- OLSON, G.M. Quality control begins in the woodyard. *Focus on Predictive Maintenance*, "s.l.", p. 89-91, ago. 1989.
- PACINI, P. Processo sulfato de eucalipto no Brasil. *O Papel*, São Paulo, 39(7): 35-46. 1978.
- PARKER, D.J. An alban paper mill case study - chip thickness screening, energy and production. *Tappi Journal*, Atlanta, 66(1): 59-61. 1983.
- PARKER, H.V. Purchased chip quality control provides improved pulp quality and yield. *Tappi Journal*, Atlanta, 71(12): 79-82. 1988.
- PEREIRA, R.A.G. Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas da celulose sulfato de madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, 1969. 129p. (Doutorado - ESALQ/USP).
- RIBEIRO JUNIOR, A. Considerações gerais sobre o uso de celulose de eucalipto na fabricação de papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 9. São Paulo, 1976. *Anais*. São Paulo, ABCP, 1976. P.47-49.
- SCHMIED, J. The effect of the size, size mon-uniformity, and the shape of chips on the cooking uniformity in pulping. *Papir Celulosa*, 19(4): 100-6, 1964. Apud ABIPC 37: A382. (Resumo).
- SMITH, D.E. & JAVID, S.R. Technical evolution of chip screening. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 22. São Paulo,

1989. *Anais.* São Paulo, ABTCP, 1989. p.79-92.
- STAMM, A.J. *Wood and Cellulose Science.* New York, The Ronald Press Company, 1964. 549p.
- STEFFENS, F.C. & RODRIGUEZ, C.A. Optimation of radiata pine geometry for the kraft cooking process. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 21. São Paulo, 1988. *Anais.* São Paulo, ABCP, 1988. P.57-62.
- TALTON JR., J.N. & CORNELL, R.H. Diffusion of sodium hydroxide in wood at high pH as a function of temperature and the extent of pulping. *Tappi Journal*, Atlanta, 70(3): 115-8. 1987.
- TAPPI, New York. *The influence of environment and genetics on pulpwood quality.* Tappi monograph series nº 24. New York, 1962.
- TAPPI, Atlanta. *Test methods. Fibrous materials and pulp testing.* Atlanta, 1988. volume 1.
- VILLA, J. Eurocan improves chip quality with new thickness screening system. *Pulp & Paper*, 57(7): 60-63. 1983.
- WARDROP, A.B. & DAVIES, G.W. Morfological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holz Forschung*, 15(5): 129-141. 1961.
- ZOBEL, B.; CAMPINHOS JUNIOR, E. & IKEMORI, Y. Selecting and breeding for desirable wood. *Tappi Journal*, Atlanta, 66(1): 70-4. 1983.