

## ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* E *E. tereticornis* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFATO\*

Celso Edmundo Bochetti Foelkel\*\*

Luiz Ernesto George Barrichelo\*\*

Augusto F. Milanez\*\*\*

### SUMMARY

The purpose of this investigation was the study of *Eucalyptus* spp wood characteristics and their unbleached sulphate pulps. The following species were analysed: ***E. saligna*** (8 and 13 year-old), ***E. paniculata*** (6 and 10 year-old), ***E. citriodora*** (7 and 13 year-old), ***E. maculata*** (7 year-old) and ***E. tereticornis*** (7 year-old). Regarding wood characteristics, ***E. citriodora***, ***E. paniculata***, ***E. maculata*** shown higher specific gravity and thicker-walled and stiff fibers. Pulp yields were higher for ***E. paniculata*** (10 year-old) and ***E. saligna*** (8 year-old). Higher tear strength were reached on ***E. citriodora*** wood pulps. Burst and tensile strengths were better on ***E. saligna*** (8 year-old), ***E. tereticornis*** (7 year-old) and ***E. maculata*** (7 year-old). Denser sheets were obtained from ***E. saligna***, ***E. tereticornis*** and ***E. maculata***. Pulp blending studies were suggested by the authors .

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com a crescente demanda de madeira para a produção de celulose e com a importância cada vez maior que as madeiras de folhosas adquirem para este fim. o gênero ***Eucalyptus*** tem-se constituído numa das principais fontes mundiais de matéria-prima de fibras curtas. Entretanto, devido a grande diversidade de espécies existentes é difícil considerá-lo como fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de celulose. Além disso, a facilidade de hibridação entre muitas espécies do gênero colabora para uma maior desuniformidade nas qualidades de suas madeiras. Estes, dentre outros fatores, obrigam aos pesquisadores em genética florestal e em tecnologia de celulose para papel. juntamente com técnicos industriais a acurados estudos visando obter a maximização das características desejáveis para determinados fins.

Aproximadamente duas dezenas de espécies de ***Eucalyptus*** desenvolvem-se com alto vigor, produzindo madeira em ciclos curtos. em nosso país. Dentre as muitas utilizações destas madeiras destacam-se postes, mourões, dormentes, madeira serrada e celulose para papel. Para esta última finalidade entretanto, apenas duas espécies, ***Eucalyptus saligna*** e ***Eucalyptus grandis***, formam aproximadamente 80% da matéria prima consumida pela indústria. Por outro lado, existem outras espécies, geralmente refugadas pela indústria de celulose, e que mostram ritmos de crescimento comparáveis a ***E. saligna*** e ***E. grandis***, sendo mais adaptadas para certas regiões edafo-climáticas que as mesmas. Assim sendo, o presente trabalho teve como finalidade estudar as características das madeiras e propriedades das celuloses sulfato não branqueadas de algumas espécies de

---

\*\* Departamento de Silvicultura da ESALQ - USP

\*\*\* Aluno do Curso de Engenharia Florestal. - ESALQ - USP

**Eucalyptus** em comparação com **E. saligna**, a saber: **E. paniculata**, **E. citriodora**, **E. maculata** e **E. tereticornis**.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O gênero **Eucalyptus**

O gênero **Eucalyptus**, descrito por L'Héritier, pertence à família das Mirtáceas e conta com cerca de seiscentas espécies, grande número de variedades e híbridos. Com exceção de umas poucas espécies, a grande maioria é originária da Austrália, onde formam densas e vastas florestas (ANDRADE, 1961). Atualmente acha-se bastante disseminado por quase todas as regiões tropicais e sub-tropicais, encontrando condições extremamente propícias na região centro-sul do Brasil.

### 2.2. Produção de celulose de madeira de **Eucalyptus spp.**

Todos os eucaliptos podem ser transformados em celulose pelos processos tradicionais e produzem celuloses de qualidades variáveis dependendo de inúmeros fatores inerentes ao próprio processo ou à qualidade da madeira. Frequentemente, árvores jovens são mais propícias para este fim que madeiras adultas da mesma espécie, as quais produzem celuloses não tão satisfatórias (DADSWELL & STEWART, 1962).

#### 2.2.1. Histórico

##### 2.2.1.1. No mundo

A primeira referência relativa à utilização da madeira de **Eucalyptus** para produção de celulose provém de Portugal. Celulose sulfito foi obtida por D. E. Berggvist, em 1906, a partir de **Eucalyptus globulus**. Entretanto devido à competição com a celulose mais barata de esparto, somente em 1919-1920 é que se passou a produzir comercialmente celulose sulfito branqueada de eucalipto em Portugal, que era exportada para a Inglaterra.

É sabido também que pastas mecânicas de **Eucalyptus globulus** e **Eucalyptus camaldulensis** eram produzidas em escala comercial por volta de 1914-1918 na Espanha. Alguns estudos são relatados nesta mesma época na França (pela Escola Papeleira de Grenoble) e nos Estados Unidos (utilizando-se **E. globulus**, **E. cladocalyx** e **E. tereticornis**). As celuloses obtidas nos Estados Unidos foram pelos processos sulfato, soda e «hipo» (lixívia contendo NaOH e Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). **E. globulus** produziu celuloses de boas qualidades, **E. tereticornis** era menos satisfatório e **E. cladocalyx** conduziu a celuloses de baixas qualidades.

Na Austrália, onde se localizavam as maiores áreas florestais com **Eucalyptus**, os problemas iniciais foram maiores que nos outros países. Isto se devia às florestas naturais mistas, com inúmeras espécies e com árvores a diferentes idades. Era difícil obter-se um material uniforme para pesquisas. As primeiras tentativas bem sucedidas foram realizadas por volta de 1914 com **E. globulus** e **E. regnans**. Em 1914-1915, um famoso engenheiro do Forest Products Laboratory (Madison, Wis, EE. UU.), conduziu experimentos com **E. regnans**, **E. globulus** e **E. obliqua** para produção de celulose soda. Os resultados obtidos pelo eminente pesquisador foram desencorajadores e supôs-se que não existia muito futuro para a indústria de celulose de eucalipto. O governo australiano entretanto, enviando materiais para estudo na Noruega, Canadá e Carolina do Norte (EE. UU.) recebeu respostas

totalmente favoráveis à produção de celulose sulfato e soda de **E. dalrympleana** e **E. delegatensis**. A partir daí, investigações sistemáticas de inúmeras outras espécies passaram a ser realizadas e atualmente na Austrália pode-se encontrar informações sobre dezenas de espécies, ensaiadas pelos mais diferentes processos de obtenção de celulose. A produção comercial australiana repousa sobre as seguintes espécies: **E. regnans**, **E. obliqua**, **E. globulus**, **E. marginata**, **E. diversicolor**, **E. calophylla**, **E. delegatensis**, **E. eugenioides** e **E. sieberiana**, dentre outras.

A partir de 1940, houve um incremento maciço do uso de **Eucalyptus** em muitos países, tais como: Angola, Brasil, Chile, Congo, Índia, Itália, Marrocos e Portugal. O processo dominante é o sulfato, embora pastas semiquímicas (CSSC e NSSC) sejam também comuns. É importante mencionar-se ainda que relativos sucessos são obtidos pelos processos mecano-químicos e pré-hidrólise sulfato em alguns países.

WATSON & COHEN, 1969, apresentaram interessante quadro histórico relativo a países produtores de celuloses de **Eucalyptus**, e que se encontra a seguir, adaptada pelos autores deste trabalho:

País	Principais espécies	Processos	Produção iniciada	
			Em laboratório	Comercialmente
África do Sul	<b>E. saligna</b> <b>E. grandis</b>	sulfato, sulfito NSSC, mecânico	1943	1944
Angola	<b>E. saligna</b>	sulfato	-	1962-1963
Austrália	<b>Vide texto</b>	sulfato, sulfito, NSSC, soda e pasta mecânica	1914	1924
Brasil	<b>E. saligna</b> <b>E. grandis</b>	sulfato, NSSC, mecano-químico	1925-1927	1927
Chile	<b>E. urophylla</b> <b>E. globulus</b> <b>E. viminalis</b> <b>E. citriodora</b>	sulfato	-	-
Espanha	<b>E. globulus</b> <b>E. camaldulensis</b>	sulfito, bissulfito	1945-1950	1945-1950
Índia	<b>E. globulus</b> <b>E. grandis</b>	sulfato, soda, CSSC, mecânico	1942	1962
Israel	<b>E. camaldulensis</b>	sulfato, CSSC, mecânico	-	-
Itália	<b>E. camaldulensis</b> <b>E. trabuti</b> <b>E. botryoides</b> <b>E. viminalis</b>	sulfato, NSSC, CSSC, bissulfito	1954	1965-1966
Marrocos	<b>E. saligna</b> <b>E. camaldulensis</b>	mecânico sulfato	-	-
Portugal	<b>E. globulus</b> <b>E. camaldulensis</b> <b>E. saligna</b>	sulfato, NSSC préhidrólise sulfato	1900-1906	1906-1920

CSSC processo semi-químico soda a frio

NSSC processo semi-químico sulfito neutro

### 2.2.1.2. No Brasil

O Brasil foi um dos primeiros países a utilizar **Eucalyptus** para a produção de celulose e atualmente esta indústria tem-se expandido enormemente.

Em 1925, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, responsável através do Dr. Edmundo Navarro de Andrade pela introdução dos eucaliptos no Brasil, enviou para o Forest Products Laboratory em Madison, Wisconsin, EE. UU. , madeiras de **E. saligna** (15 anos) e **E. tereticornis** (13 anos) para experiências visando a produção de celulose. As celuloses foram obtidas pelos processos sulfato, soda, sulfito e mecânico. O processo mecânico mostrou-se não econômico devido o alto consumo de energia para a produção de pasta de baixa qualidade. Os processos alcalinos forneceram rendimentos satisfatórios para celulose branqueada (38 - 46%). Celulose sulfito de boa qualidade foi obtida de **E. saligna** enquanto aquela obtida de **E. tereticornis** era bem inferior.

Baseada nestes resultados, a firma Gordinho-Braune & Cia. , em Jundiaí - SP, iniciou em 1927-1928 a fabricação de vários tipos de papel com celulose sulfito de **E. saligna** em mistura com celuloses importadas ou pasta mecânica de **Araucaria angustifolia**.

Depois do êxito alcançado por esta pequena firma, anos mais tarde, outras indústrias se dedicaram à fabricação de papel de **Eucalyptus**. Dentre as pioneiras podem ser citadas: Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo. Cia. Melhoramentos de São Paulo, Cia. Suzano de Papel e Celulose.. Indústrias de Papel Simão, Champion Papel e Celulose S. A., Indústrias Klabin do Paraná de Celulose S. A., dentre outras. Atualmente inúmeras indústrias se dedicam à produção de celuloses sulfato, sulfito, sulfito neutro, soda a frio e pasta mecano-química de **Eucalyptus**. Por outro lado muitas outras estão em fase de implantação para esta finalidade.

As espécies mais difundidas entre nós são **E. saligna**, **E. grandis** e **E. urophylla**. além de inúmeros híbridos. Em escala muito menor, encontram-se **E. camaldulensis**, **E. globulus**, **E. robusta** e **E. tereticornis**. Estas espécies são normalmente preferidas por sua densidade média (0.400-0.600 g/cm<sup>3</sup>) e por sua cor clara. Os melhores resultados têm sido obtidos para povoamentos abatidos com 5 a 8 anos de idade.

### **2.2.2. Produção de celulose a partir de madeiras de Eucalyptus de alta densidade.**

Embora existam inúmeros estudos na utilização de madeiras de folhosas para produção de celuloses de qualidades aceitáveis, a seleção da matéria prima é geralmente limitada a madeiras de baixa a média densidades. Entretanto, se se tornar possível obter celuloses de qualidades similares com folhosas mais densas. consideráveis progressos serão conseguidos nos campos da silvicultura. especialmente no manejo e produtividade florestal.

Madeiras densas normalmente estão associadas a fibras de paredes espessas, as quais vão se constituir num peso morto dentro da folha de papel já que existirão menos áreas de contacto fibra-fibra e a ligação interfibra será menor. Assim. para a mesma superfície externa disponível para a ligações, existirão menos ligações entre fibras por unidade de peso numa folha de papel obtida de fibras de paredes espessas que em outra obtida de fibras de paredes delgadas. Por outro lado, fibras de paredes espessas não são tão flexíveis, são mais rígidas quando secas e, portanto, afetam inversamente a flexibilidade da estrutura da folha.

Dentro do gênero **Eucalyptus** existem amplas diferenças entre as espécies para a produção de celulose. Dentre estas diferenças destacam-se: espécie, idade, tamanho da árvore, qualidade silvicultural da árvore e qualidade da madeira. Basicamente, as principais

causas determinantes do comportamento das madeiras de **Eucalyptus** na produção de celulose são: densidade da madeira e teor de extrativos. Para processos químicos e semi-químicos, o teor de extrativos influencia particularmente o consumo de reagentes químicos e o rendimento em celulose. A densidade da madeira exerce sua maior influência nas propriedades estruturais e mecânicas do papel ou papelão.

HIGGINS, 1970, discutindo as possibilidades das madeiras densas de **Eucalyptus**, com fibras de paredes espessas, abordou os seguintes aspectos do uso destas madeiras para produção de papel:

a) elas poderiam constituir em matérias-primas para a indústria de papéis finos, para escrita e impressão, onde um alto grau de ligação inter-fibras não é importante e onde propriedades como opacidade e volume específico aparente assumem maior significância.

b) podem ser usadas em misturas de celulose colaborando para melhorar certas propriedades como rasgo, opacidade e volume específico aparente. Por outro lado, economizar-se-ia na moagem, pois celulose com fibras rígidas e de paredes espessas requerem maior tempo e moagem para atingir adequadas resistências à tração e ao arrebitamento.

c) os rendimentos em celulose por unidade de volume de madeira densa constituir-se-ão em um fator econômico de alta expressão.

Uma clara indicação das potencialidades de **Eucalyptus** de alta densidade foi dada por COHEN, 1960, em seu estudo das propriedades da celulose sulfato de **Eucalyptus hemiphloia**. Embora as melhores celuloses desta espécie ainda se mostrassem ligeiramente inferiores às celuloses obtidas de madeiras de média densidade, deve-se levar em conta que estas madeiras densas produzem celulose de excelente qualidade para papéis finos, produtos altamente valorizados atualmente. Neste particular RYDHOLM & GEDDA, 1967, consideraram como limites mínimos para papéis finos para escrita e impressão, as seguintes resistências: índice de rasgo = 90; comprimento de auto-ruptura = 5 km. Estes valores podem ser facilmente obtidos com a maior parte das madeiras de eucaliptos, inclusive com as densas.

### **2.2.3. Celulose sulfato de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis*.**

#### **2.2.3.1. *Eucalyptus saligna***

É a espécie mais difundida entre nós para a fabricação de celulose de fibras curtas, e ainda, uma das espécies exóticas de **Eucalyptus** mais comum em inúmeros países. Entretanto na Austrália, seu local de origem, não se apresenta como espécie comercial importante. Sua madeira tem sido bastante estudada quer em termos de suas características anatômicas, químicas e físicas, quer para a produção de celulose. Celuloses de excelentes qualidades foram obtidas por vários pesquisadores : CHITTENDEN, COOMBER & CORNEY, 1951; SANYER; PETROFF, 1965; BARRICHELO, 1968 e PEREIRA, 1969, dentre outros. Além de sua alta viabilidade provada em estudos experimentais de laboratório, destacam-se os grandes sucessos alcançados industrialmente (MYBURG, 1967 e LEON & BORGES, 1967, dentre outros).

Alguns autores procuraram estudar a influência da idade dos povoamentos florestais desta espécie na qualidade da celulose. Neste particular, MAZZEI & OVERBECK, 1966, em estudo comparativo de madeiras de 5, 8, 10, 15 e 20 anos de idade, concluíram que a celulose sulfato de madeira de 5 anos apresentou melhores resultados gerais de resistência, quando não branqueada e principalmente quando branqueada. PEREIRA, 1969, ao estudar

diversas espécies de **Eucalyptus** para produção de celulose sulfato incluiu entre seus tratamentos madeiras de **E. saligna** de 5 e 7 anos de idade. O autor observou que aos níveis de refinação de 30,45 e 60°SR a celulose obtida da madeira de 5 anos mostrava maior resistência à tração, ao arrebentamento, ao dobramento e maior peso específico aparente que todos os outros tratamentos, a saber **E. saligna**, 7 anos; **E. grandis**, 7 anos e **E. alba**, 5 e 7 anos. Com base nos resultados obtidos o autor concluiu que **E. saligna** deveria ser a espécie preferida para a produção de celulose sulfato branqueável, recomendando estudos de práticas florestais, técnica e economicamente adequadas, que permitissem adotar uma rotação de 5 anos para sua melhor utilização industrial.

#### 2.2.3.2. **Eucalyptus paniculata**

**E. paniculata** constitui-se numa espécie geralmente pouco utilizada para produção de celulose em virtude de sua madeira de densidade elevada. Esparsas referências se encontram sobre a utilização da espécie para este fim. MYBURG, 1967, cita que na África do Sul pequenas quantidades desta espécie entram em mistura com outras mais comuns na fabricação de celulose sulfato.

#### 2.2.3.3. **Eucalyptus citriodora**

A madeira de **E. citriodora** tem sido normalmente refugada pelas indústrias de celulose sulfato em virtude da sua densidade elevada e de seu maior teor de extrativos. Em geral assume-se que esta madeira é de difícil redução a cavacos, exigindo maior consumo de energia, e que sua celulose necessita de mais estágios no branqueamento para a obtenção de uma determinada alvura. Estudos paralelos a este trabalho estão sendo conduzidos no Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» - Universidade de São Paulo, a fim de verificar a branqueabilidade de celuloses sulfato desta espécie.

A literatura sobre esta espécie é bastante reduzida. PETROFF, 1965, num estudo da aptidão para produção de celulose de algumas espécies exóticas de **Eucalyptus** do Congo Brazzaville, notou que, em particular, **E. saligna**, **E. robusta** e **E. citriodora** forneciam resultados bastante satisfatórios.

#### 2.2.3.4. **Eucalyptus maculata**

Da mesma forma que **E. paniculata**, é uma espécie considerada de densidade e muito pouco se encontra na literatura a seu respeito, a não ser esparsas citações sobre as características de sua madeira (GLEESON, 1960). MYBURGH, 1967, admite também que pequenas quantidades desta madeira são utilizadas em misturas com outras para produção de celulose sulfato na África do Sul.

#### 2.3.3.5. **Eucalyptus tereticornis**

É uma espécie relativamente bem estudada e algumas referências sobre a razoável para boa qualidade de suas celuloses sulfato podem ser encontradas na literatura: SANYER; PETROFF, 1964 e PREBLE, 1929, dentre outros.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

### **3.1. Material**

O material utilizado na experimentação foi obtido de árvores das espécies **Eucalyptus saligna**, de 8 e 13 anos; **E. paniculata**, de 6 e 10 anos; **E. citriodora**, de 7 e 13 anos; **E. maculata**, de 7 anos e **E. tereticornis**, de 7 anos. A madeira de **E. saligna** era oriunda de povoamentos pertencentes à Champion Papel e Celulose S.A., em Mogi Guaçu - S.P., enquanto as de todas as outras espécies estudadas provinham de plantios localizados no Estado de Minas Gerais, pertencentes a diferentes empresas.

Na preparação do material as árvores foram abatidas, seccionadas em toras de aproximadamente 2 m de comprimento, descascadas e reduzidas a cavacos em picador industrial.

### **3.2. Métodos**

#### **3.2.1. Seleção dos povoamentos**

Foram selecionados os talhões mais representativos no tocante ao desenvolvimento médio das espécies nas idades em estudo, para os locais em questão.

#### **3.2.2. Escolha das árvores**

Nos talhões escolhidos foram amostradas ao acaso 10 árvores por espécie e por idade.

#### **3.2.3. Preparação do material e obtenção dos cavacos**

As árvores selecionadas foram abatidas e seccionadas em toras de 2 m de comprimento a partir da base até um diâmetro mínimo de 8 cm. A seguir a madeira foi descascada e identificada e reduzida a cavacos em picador industrial. Posteriormente os cavacos foram colocados em tabuleiros de madeira, em condições ambientais, para sofrer secagem natural ao ar. A seguir os cavacos foram armazenados em sacos plásticos identificados.

#### **3.2.4. Amostragem para ensaios**

Todos os ensaios realizados neste trabalho foram realizados em amostras obtidas ao acaso em cada um dos lotes de cavacos.

#### **3.2.5. Características das madeiras**

Ensaio físicos e anatômicos e análises químicas das madeiras foram realizados a fim de comparar as características de todas as madeiras estudadas. De cada uma das oito madeiras amostradas, uma representativa sub-amostra foi tomada e nesta todos os testes citados neste item foram realizados .

##### **3.2.5.1. Morfologia das fibras das madeiras**

As correlações entre as propriedades anatômicas das fibras lenhosas e as resistências das celuloses correspondentes têm sido objeto de inúmeras pesquisas na última década. Em virtude disso, as seguintes dimensões das fibras foram determinadas neste trabalho:

- comprimento da fibra           CF
- largura da fibra                LF
- diâmetro do lúmen            DL
- espessura da parede celular   EPC

Recentemente, maior ênfase tem sido colocada em medições mais sofisticadas, expressas como relações entre estas dimensões fundamentais. O cálculo de algumas destas relações poderia colaborar na explicação dos resultados obtidos para resistência das celuloses, e, também, tornar possível uma melhor identificação destas madeiras.

As seguintes relações entre dimensões das fibras, consideradas importantes para a produção de celulose para papel, foram calculadas:

- **Índice de enfiletamento (IE):** relação entre comprimento e largura da fibra

$$IE = \frac{CF}{LF}$$

- **Coefficiente de flexibilidade (CF1):** relação entre diâmetro do lúmen e largura da fibra, expressa em porcentagem

$$CF1 = \frac{DL}{LF} \times 100$$

- **fração parede (FP):** relação entre a espessura da parede celular e o raio da fibra, expressa em porcentagem

$$FP = \frac{EPC}{\frac{LF}{2}} \times 100$$

- **relação comprimento da fibra e espessura da parede celular (C/E);**

$$C/E = \frac{CF}{EPC}$$

- **índice de Runkel (IR):** relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen

$$IR = \frac{2 \cdot EPC}{DL}$$

Dos cavacos amostrados para esta finalidade, pequenos fragmentos de madeira foram obtidos e macerados em solução constituída de 5 partes de ácido acético glacial e 1 parte de ácido nítrico concentrado. Os tubos de ensaio contendo a madeira e a solução



macerante foram aquecidos em banho-maria a 90°C até que a maceração se completasse. Dez Lâminas foram preparadas por amostra, obtendo-se a coloração do material com safranina. As dimensões de 10 fibras por lâmina, num total de 100 fibras por tipo de madeira, foram microscopicamente determinadas.

### 3.2.5.2 Densidade básica das madeiras

A densidade básica da madeira foi determinada utilizando-se o método do máximo teor de umidade, conforme FOELKEL; BRASIL & BARRICHELO, 1971.

### 3.2.5.3. Análise químicas das madeiras

As análises químicas foram realizadas em duplicata e o resultado médio foi expresso como porcentagem do peso da madeira absolutamente seca. As seguintes determinações químicas foram processadas nas madeiras:

**Quadro I:** *Análises químicas processadas nas madeiras e respectivos métodos adotados.*

Análise química	Método
Solubilidade em	
- água quente.....	TAPPI T <sub>1m-59</sub>
- NaOH 1%.....	TAPPI T <sub>4m-59</sub>
- álcool-benzeno.....	TAPPI T <sub>6m-59</sub>
Teor de	
- celulose Cross e Bevan.....	ABCP M 9/71
- lignina.....	ABCP M 10/71
-	TAPPI T <sub>10m-50</sub>
pentosanas.....	
- cinzas.....	ASTM D 1102-56

TAPPI Technical Association of the Pulp and Paper Industry

ABCP Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel

ASTM American Society for Testing and Materials

### 3.2.6. Produção de celulose

#### 3.2.6.1. - Processo

Foi utilizado o processo químico sulfato.

#### 3.2.6.2. Condições de cozimento

Com a finalidade de se obter celulose economicamente branqueável e de se permitir uma comparação rigorosa entre os tratamentos estudados, procurou-se trabalhar com celuloses a graus de deslignificação semelhantes. Assim é que se convencionou obter celuloses com números de permanganato no intervalo  $16,0 \pm 1,0$ .

As condições de cozimento para o estabelecimento da condição acima mencionada variaram ligeiramente para algumas das madeiras. Quando houve necessidade de se alterarem as condições de deslignificação, a única variável foi a porcentagem de álcali ativo.

As seguintes condições de cozimento foram adotadas:

## Quadro II: Condições dos cozimentos.

Condição	Madeira	E. citriodora 7 anos	E. maculata 7 anos	E. saligna 13 anos	demais tratamentos
Alcali ativo (%)		13,25	13,5	14,0	13,0
Sulfidez (%)		25	25	25	25
Temperatura máxima (°C)		170	170	170	170
Tempo até temperatura máxima (hrs)		2,0	2,0	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (hrs)		0,5	0,5	0,5	0,5
Relação licor/madeira		4:1	4:1	4:1	4:1
Concentração inicial de Na <sub>2</sub> O ativo (g/l)		33,12	33,75	35,00	32,50

### 3.2.6.3. Cozimentos

Os cozimentos foram realizados em digestor de aço inoxidável, rotativo (2-3 rpm), de 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro.

O equivalente a 600 gramas de madeira absolutamente seca foi digerida por cozimento. Foram realizados 3 cozimentos para cada tipo de madeira, num total de 24 cozimentos.

### 3.2.6.4. Lavagem e depuração

As celuloses obtidas eram a seguir lavadas e depuradas em classificador de fibras BH 6/12 tipo Brecht & Holl, com peneira de fendas 0,2 mm.

### 3.2.6.5. Determinação de rendimentos em celulose e teores de rejeitos

As celuloses após lavagem e depuração eram cuidadosamente pesadas e a seguir retiravam-se amostras para a determinação de seus percento absolutamente secos. Conhecidos estes dados era possível se determinar o rendimento depurado das mesmas. Por outro lado, os rejeitos retirados na peneira de fendas 0,2 mm eram secos em estufa a  $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e determinava-se o teor de rejeitos. O rendimento bruto era calculado pela adição dos valores encontrados para rendimento depurado e teor de rejeitos.

### 3.2.6.6. Determinação do número de permanganato

Esta determinação foi feita de acordo com o método TAPPI T<sub>214m-50</sub>.

### 3.2.7. Preparo das amostras para testes físicos-mecânicos

#### 3.2.7.1. Refinação

A refinação da celulose foi feita em moinho Jokro Muhle, utilizando-se 16 gramas a. s. por panela, à consistência de 6%. A refinação foi conduzida a 7 tempos de moagem, inclusive o tempo zero minutos. O grau de refinação obtido para cada amostra foi expresso em termos de grau Schopper Riegler (<sup>o</sup>SR).

#### 3.2.7.2. Formação das folhas para testes

A formação de folhas deu-se em Formador de Folhas FS S/2, tipo Koethen Rapid, de dois secadores. Foram confeccionadas 7 folhas por tempo de moagem, num total de 1.176 folhas para o experimento.

### 3.2.7.3. Acondicionamento

Com a finalidade de evitar os efeitos das variações ambientais sobre os resultados dos ensaios físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes foram acondicionadas em ambiente climatizado à temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\% \pm 2\%$ .

### 3.2.8. Ensaio físico-mecânicos

Os seguintes ensaios físico-mecânicos foram realizados e calculados segundo o método T APPI T<sub>220m-60</sub>:

- gramatura: expressa em gramas por metro quadrado
- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em quilômetros
- esticamento: expresso em porcentagem de alongamento
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo
- espessura: expressa em microns
- peso específico aparente: expresso em gramas por centímetro cúbico

### 3.2.9. Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos para as propriedades das celulosas foram estatisticamente interpretados. O esquema experimental adotado foi o de inteira casualização, com 3 repetições por tratamento. Alguns dos resultados, que eram expressos em porcentagem, não sofreram nenhuma transformação em virtude de seguirem distribuições normais conforme o preconizado por CLARK & LEONARD, 1939. O nível de significância de 5% foi considerado satisfatório para os propósitos do experimento.

Os seguintes testes estatísticos foram aplicados aos resultados:

- teste F: teste para a significância de diferenças entre os efeitos dos tratamentos
- teste Tukey: teste para comparações entre pares de médias

A análise da variância obedeceu ao esquema do quadro III.

**Quadro III** - *Esquema da análise da variância de uma dada propriedade das celulosas.*

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadro médio	F
Tratamento	7	QM <sub>1</sub>	QM <sub>1</sub> /QM <sub>2</sub>
Resíduo	16	QM <sub>2</sub>	
Total	23		

Os tratamentos estudados foram os seguintes:

- |                                            |                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| T1: <i>Eucalyptus saligna</i> , 8 anos     | T5: <i>Eucalyptus citriodora</i> , 7 anos  |
| T2: <i>Eucalyptus saligna</i> , 13 anos    | T6: <i>Eucalyptus citriodora</i> 13 anos   |
| T3: <i>Eucalyptus paniculata</i> , 6 anos  | T7: <i>Eucalyptus maculata</i> 7 anos      |
| T4: <i>Eucalyptus paniculata</i> , 10 anos | T8 <i>Eucalyptus tereticornis</i> , 7 anos |

## 4. RESULTADOS

#### 4.1. Dimensões das fibras das madeiras

As dimensões médias das fibras das madeiras aparecem no Quadro IV.

**Quadro IV:** *Dimensões das fibras das madeiras.*

Dimensão Espécie	Comprimento (mm)	Largura ( $\mu$ )	Diâmetro do lúmen ( $\mu$ )	Espessura da parede celular ( $\mu$ )
<b>E. saligna</b> (8 anos)	0,759	15,77	6,55	4,61
<b>E. saligna</b> (13 anos)	0,945	18,44	8,00	5,22
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	0,871	16,72	4,68	6,02
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	0,938	16,94	4,61	6,16
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	0,915	15,50	4,75	5,37
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	0,943	15,89	4,41	5,74
<b>E. maculata</b> (7 anos)	0,885	17,15	8,13	4,51
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	0,828	14,80	6,33	4,23

#### 4.2. Relações entre as dimensões das fibras

Os resultados obtidos para as mais importantes relações entre as dimensões das fibras constam do Quadro V.

**Quadro V:** *Principais relações entre as dimensões das fibras.*

Relação Espécie	Índice de enfeltramento	Coefficiente de flexibilidade (%)	Fração parede (%)	Relação comprimento / espessura da parede	Índice de Runkel
<b>E. saligna</b> (8 anos)	48	42	58	165	1,40
<b>E. saligna</b> (13 anos)	51	43	57	181	1,30
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	52	28	72	145	2,57
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	55	27	73	152	2,67
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	59	31	69	170	2,26
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	59	28	72	164	2,60
<b>E. maculata</b> (7 anos)	52	47	52	196	1,10
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	56	43	57	196	1,33

#### 4.3. Densidade básica das madeiras.

Foram observados os seguintes resultados para densidade básica média das madeiras estudadas:

**Quadro VI:** *Densidade básica das madeiras ( $g/cm^3$ ).*

Espécie	Densidade básica
<b>E. saligna</b> (8 anos)	0,530
<b>E. saligna</b> (13 anos)	0,610
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	0,680
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	0,721
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	0,637
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	0,738
<b>E. maculata</b> (7 anos)	0,647
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	0,512

#### 4.4. Composição química quantitativa das madeiras

Os resultados para as análises químicas das madeiras estão apresentados no Quadro VII.

**Quadro VII:** *Composição química quantitativa das madeiras (%)*.

Espécie	<b>E. saligna</b> (8 anos)	<b>E. saligna</b> (13 anos)	<b>E. paniculata</b> (6 anos)	<b>E. paniculata</b> (10 anos)	<b>E. citriodora</b> (7 anos)	<b>E. citriodora</b> (13 anos)	<b>E. maculata</b> (7 anos)	<b>E. tereticornis</b> (7 anos)
Análise química								
Solubilidade em:								
- água quente	4,71	7,42	4,34	5,52	4,09	4,48	4,57	5,05
- NaOH 1%	17,76	20,77	15,43	16,11	16,89	19,32	19,92	17,23
- álcool/benzeno	1,57	1,67	0,95	1,32	2,86	2,68	2,07	0,56
Teor de:								
- celulose Cross e Bevan	61,52	57,36	62,98	58,44	61,45	56,72	58,82	60,22
- lignina	18,66	21,60	17,76	26,48	15,30	17,75	17,53	22,82
- pentosanas	18,75	16,85	24,95	19,62	23,53	18,12	24,73	19,25
- cinzas	0,30	0,22	0,38	0,64	0,21	0,34	0,48	0,30

#### 4.5. Propriedades das celuloses

Tendo em vista o grande número de dados obtidos durante a realização deste trabalho, neste item serão apresentados tão somente as médias dos tratamentos e as significâncias de contrastes entre pares de médias.

##### 4.5.1. Rendimentos em celulose

Os valores médios encontrados para estas propriedades e a significância entre contrastes entre pares de médias de tratamentos são relatados a seguir. Foi adotado o seguinte critério para indicar quais os contrastes significativos: as médias dos tratamentos foram ordenadas de forma decrescente e à direita dos resultados foram colocadas uma ou mais barras verticais, sendo que os tratamentos compreendidos por cada barra não são significativos entre si ao nível de 5% de probabilidades. Assim, por exemplo, não foi constatado nenhum contraste significativo para rendimento bruto e apenas um para rendimento depurado.

##### - Rendimento bruto (%)

	Média
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	51,7
<b>E. saligna</b> (8 anos)	50,3
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	49,2
<b>E. maculata</b> (7 anos)	48,7
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	47,8
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	47,1
<b>E. saligna</b> (13 anos)	46,5
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	46,2

**- Rendimento depurado (%):**

	Média
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	49,6
<b>E. saligna</b> (8 anos)	46,6
<b>E. maculata</b> (7 anos)	45,0
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	44,6
<b>E. saligna</b> (13 anos)	44,5
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	44,5
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	44,3
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	44,1

**- Teor de rejeitos (%):**

	Média
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	4,8
<b>E. maculata</b> (7 anos)	3,7
<b>E. saligna</b> (8 anos)	3,7
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	3,2
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	2,9
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	2,1
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	2,1
<b>E. saligna</b> (13 anos)	1,9

**4.5.2. Propriedades físico-mecânicas das celuloses**

As propriedades em estudo foram graficamente relacionadas com o grau de moagem das celuloses e interpolaram-se os valores das mesmas para 30, 45 e 60° SR.

Da mesma forma que para os rendimentos em celulose, neste item serão relacionadas apenas as médias dos tratamentos e a significância entre contrastes de pares de médias, segundo a convenção adotada anteriormente.

**- Tempo de moagem necessário para atingir 30° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	35,0
<b>E. maculata</b> (7 anos)	30,0
<b>E. saligna</b> (8 anos)	30,0
<b>E. saligna</b> (13 anos)	28,3
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	26,7
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	25,7
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	25,7
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	25,7

**- Tempo de moagem necessário para atingir 45° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	59,7
<b>E. maculata</b> (7 anos)	37,7
<b>E. saligna</b> (8 anos)	37,3
<b>E. saligna</b> (13 anos)	37,0
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	36,3
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	33,0
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	32,7
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	31,0

**- Tempo de moagem necessário para atingir 60° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	77,0
<b>E. saligna</b> (13 anos)	53,3
<b>E. saligna</b> (8 anos)	50,7
<b>E. maculata</b> (7 anos)	47,0
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	46,7
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	41,7
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	40,0
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	39,7

**- Comprimento de auto-ruptura a 30° SR**

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	8,8
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	7,7
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	7,7
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	7,2
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	7,2
<b>E. saligna</b> (13 anos)	7,1
<b>E. maculata</b> (7 anos)	7,0
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	6,6

**- Comprimento de auto-ruptura a 45° SR**

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	10,1
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	8,8
<b>E. maculata</b> (7 anos)	8,6
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	8,4
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	8,3
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	8,0
<b>E. saligna</b> (13 anos)	7,9
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	7,7

**- Comprimento de auto-ruptura a 60° SR**

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	10,3
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	9,8
<b>E. maculata</b> (7 anos)	9,5
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	9,0
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	8,7
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	8,5
<b>E. saligna</b> (13 anos)	8,4
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	8,2

**- Índice de arrebetamento de 30° SR**

	Média
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	51,0
<b>E. saligna</b> (8 anos)	49,0
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	48,0
<b>E. maculata</b> (7 anos)	43,7
<b>E. saligna</b> (13 anos)	41,3
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	41,0
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	38,2
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	38,0

**- Índice de arrebetamento a 45° SR**

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	65,8
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	64,2
<b>E. maculata</b> (7 anos)	60,2
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	58,3
<b>E. saligna</b> (13 anos)	53,0
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	52,7
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	52,5
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	50,7

**- Índice de arrebetamento a 60° SR**

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	72,7
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	71,0
<b>E. maculata</b> (7 anos)	70,0
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	64,7
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	59,8
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	59,7
<b>E. saligna</b> (13 anos)	57,8
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	57,0



**- Índice de rasgo a 30° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	153
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	140
<b>E. saligna</b> (13 anos)	128
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	128
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	123
<b>E. saligna</b> (8 anos)	122
<b>E. maculata</b> (7 anos)	122
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	111

**- Índice de rasgo a 45° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	150
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	144
<b>E. maculata</b> (7 anos)	139
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	135
<b>E. saligna</b> (13 anos)	133
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	132
<b>E. saligna</b> (8 anos)	130
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	121

**- Índice de rasgo a 60° SR**

	Média
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	144
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	139
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	138
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	134
<b>E. saligna</b> (13 anos)	125
<b>E. maculata</b> (7 anos)	125
<b>E. saligna</b> (8 anos)	124
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	114

**- Peso específico aparente a 30° SR**

	Média
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	0,597
<b>E. saligna</b> (8 anos)	0,592
<b>E. maculata</b> (7 anos)	0,555
<b>E. saligna</b> (13 anos)	0,552
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	0,543
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	0,540
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	0,540
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	0,515

## - Peso específico aparente a 45° SR

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	0,672
<b>E. maculata</b> (7 anos)	0,637
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	0,625
<b>E. saligna</b> (13 anos)	0,620
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	0,588
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	0,587
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	0,580
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	0,563

## - Peso específico aparente a 60° SR

	Média
<b>E. saligna</b> (8 anos)	0,697
<b>E. maculata</b> (7 anos)	0,677
<b>E. saligna</b> (13 anos)	0,650
<b>E. tereticornis</b> (7 anos)	0,633
<b>E. paniculata</b> (6 anos)	0,610
<b>E. paniculata</b> (10 anos)	0,598
<b>E. citriodora</b> (7 anos)	0,593
<b>E. citriodora</b> (13 anos)	0,593

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. Características das madeiras

#### 5.1.1. Dimensões das fibras

Relativamente às dimensões das fibras, observou-se que os resultados encontrados para os comprimentos das mesmas achavam-se perfeitamente dentro dos limites estabelecidos por DADSWELL & STEWART, 1962, ou seja, próximo a 1 mm. Dentre as madeiras investigadas, as de **E. saligna** (18 anos) e **E. tereticornis** (7 anos) mostraram os menores comprimentos de fibras, enquanto **E. citriodora** (13 anos) e **E. saligna** (13 anos) apresentaram os maiores. Notou-se também que as fibras possuíam paredes relativamente espessas, principalmente as espécies **E. paniculata** e **E. citriodora**. Esta característica deve conferir relativa rigidez à fibra, o que provavelmente interferirá em suas qualidades de ligação na formação da folha de papel. As espécies **E. saligna**, **E. tereticornis** e **E. maculata** apresentaram paredes celulares mais delgadas, embora não a ponto de serem consideradas paredes finas, aproximando-se mais à média espessura. Um ligeiro acréscimo com a idade de uma dada madeira foi observado para o comprimento da fibra e espessura da parede celular.

#### 5.1.2. Relações entre as dimensões das fibras

É bem sabido que fibras de madeiras de folhosas que apresentam altos índices de Runkel e frações paredes e baixos coeficientes de flexibilidade mostram-se rígidas e pouco

flexíveis na formação do papel, prejudicando as propriedades que dependem da interligação das fibras (resistência à tração e ao arrebentamento) e melhorando a resistência ao rasgo. Para as madeiras em estudo, **E. saligna** (8 e 13 anos), **E. maculata** (7 anos) e **E. tereticornis** (7 anos) caracterizaram-se por possuírem os menores índices de Runkel e frações parede e os maiores coeficientes de flexibilidade. **E. paniculata** (6 e 10 anos) e **E. citriodora** (7 e 13 anos) mostraram propriedades inversas às apresentadas pelas quatro madeiras inicialmente citadas. Certamente estas características morfológicas deverão conduzir a diferenças nas propriedades das celuloses obtidas destas madeiras.

### 5.1.3. Densidade básica das madeiras

As madeiras de **E. tereticornis** e **E. saligna** caracterizam-se por apresentar médias densidades enquanto as espécies restantes mostravam-nas elevadas. Observou-se ainda um sensível aumento da densidade com o aumento da idade para uma dada espécie .

### 5.1.4. Composição química das madeiras

Numa análise geral do Quadro VII observou-se que relativamente às solubilidades das madeiras em diferentes solventes, **E. saligna** (13 anos) mostrou maiores valores para solubilidade em água quente e **E. citriodora** para solubilidade em álcool-benzeno. As outras madeiras tinham aproximadamente os mesmos teores de solutos em água quente e também em álcool-benzeno. Para a solubilidade da madeira em NaOH 1 %, **E. saligna** (13 anos), **E. citriodora** (13 anos) e **E. maculata** (7 anos) mostraram os valores mais elevados e **E. paniculata** os inferiores.

Os teores de celulose mantiveram-se mais ou menos similares para todas as madeiras, enquanto os teores de lignina foram maiores para **E. paniculata** (10 anos), **E. tereticornis** (7 anos) e **E. saligna** (13 anos) .Altos teores de pentosanas foram observados para **E. paniculata** (6 anos), **E. maculata** (7 anos) e **E. citriodora** (7 anos).

Com referência à variação da composição química com a idade, para uma dada espécie, observou-se que solubilidades em água quente, NaOH 1 % e álcool-benzeno e teor de lignina aumentaram com a idade enquanto os teores de celulose e pentosanas decresceram.

## 5.2. Consumo de reagentes químicos na produção de celulose

Da análise do Quadro II, pode-se verificar que as madeiras de **E. saligna** (13 anos), **E. maculata** (7 anos) e **E. citriodora** (7 anos) necessitaram maiores teores de álcali ativo e maiores concentrações de licor de cozimento para a obtenção do nível de deslignificação previamente adotado.

### 5.3. Propriedades das celuloses

#### 5.3.1. Rendimento em celulose

Embora não tenham sido constatadas diferenças estatísticas significativas para rendimentos brutos das celuloses, do ponto de vista econômico, algumas das diferenças encontradas foram marcantes. Assim é que, poder-se-ia admitir como madeiras que produziam mais altos rendimentos brutos as seguintes: **E. paniculata** (10 anos), **E. saligna**

(8 anos) e **E. citriodora** (7 anos), enquanto **E. saligna** (13 anos) e **E. tereticornis** mostravam os rendimentos brutos mais baixos .

Para o rendimento depurado, o único contraste significativo foi aquele entre **E. paniculata** (10 anos) e **E. tereticornis** (7 anos). Entretanto, do ponto de vista econômico, **E. paniculata** (10 anos) produz consideravelmente mais celulose depurada que as outras madeiras, vindo **E. saligna** (8 anos) em segundo lugar.

A madeira que mais rejeitos forneceu foi **E. citriodora** (7 anos) e a que menos forneceu foi **E. saligna** (13 anos).

A comparação entre as médias destes dois tratamentos constituiu-se no único contraste significativo para teor de rejeitos.

### 5.3.2. Tempo de moagem

As diversas celuloses obtidas mostraram-se relativamente uniformes frente ao tempo de moagem para se atingir um determinado grau de refino, à exceção da celulose de **E. citriodora** (7 anos) que foi significativamente mais lenta para refinação.

### 5.3.3. Comprimento de auto-rutura

As celuloses de **E. saligna** (8 anos), **E. tereticornis** (7 anos) e **E. maculata** (7 anos) apresentaram as melhores resistências à tração, aparecendo a seguir, também com bons resultados aquelas de **E. citriodora** (7 e 13 anos). As boas qualidades que as três primeiras celuloses apresentaram para esta propriedade vêm confirmar o prognóstico anterior baseado na maior flexibilidade e menor rigidez destas fibras.

### 5.3.4. Índice de arrebentamento

Relativamente à resistência ao arrebentamento as melhores celuloses foram obtidas de **E. saligna** (8 anos), **E. tereticornis** (7 anos), **E. maculata** (7 anos) e **E. citriodora** (13 anos). Da mesma forma que para a resistência à tração, atribuíram-se os melhores resultados dos três primeiros tratamentos citados à maior capacidade de inter-ligação de suas fibras.

### 5.3.5. Índice de rasgo

Conforme discutido anteriormente, esta propriedade é geralmente associada à espessura da parede das fibras e à densidade da madeira. Confirmando as informações bibliográficas, verificou-se que as celuloses de **E. citriodora** (13 e 7 anos) e **E. paniculata** (10 anos) foram as que obtiveram maior destaque para resistência ao rasgo. Esta propriedade entretanto apresentou maiores variações na classificação dos tratamentos aos 3 níveis de refinação estudados.

### 5.3.6. Peso específico aparente

Fibras de paredes mais delgadas têm maior facilidade para sofrerem colapso durante a moagem e produzem assim, folhas mais densas. Explica-se com isso, os maiores valores de peso específico aparente para **E. tereticornis** (7 anos), **E. saligna** (8 e 13 anos) e **E. maculata** (7 anos).

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e para as condições adotadas neste experimento, pode-se concluir que praticamente os oito tipos de madeiras estudados produziram celuloses de qualidades que variavam de satisfatórias para boas, dependendo das propriedades desejadas no produto final. Assim é que, quando se visa rendimentos em celulose depurada e não branqueada, as madeiras de **E. paniculata** (10 anos) e **E. saligna** (8 anos) foram as mais indicadas. Quando o propósito é obter celulose de alta resistência à tração e ao arrebentamento, as madeiras de **E. saligna** (8 anos), **E. tereticornis** (7 anos) e **E. maculata** (7 anos) preenchem melhor as especificações. Entretanto, quando uma maior resistência ao rasgo é desejada, recomenda-se **E. citriodora** (7 e 13 anos) e **E. paniculata** (10 anos). Se a finalidade for a fabricação de papéis mais densos para uma dada gramatura, sugere-se então a celulose de **E. saligna** (8 e 13 anos), **E. tereticornis** (7 anos) e **E. maculata** (7 anos). Misturas de celuloses destas madeiras entre si permitem a obtenção de uma grande variedade de produtos com qualidades específicos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE, E. N. - 1961 - **O eucalipto**. 2.<sup>a</sup> ed., Jundiaí, Cia Paulista de Estradas de Ferro. 667 p.
2. BARRICHELO, L. E. G. - 1968 - Celulose sulfato de kiri e eucalipto. In: **Convenção anual da ABCP**. 1.<sup>a</sup>, São Paulo, 1968. 16p.
3. CHITTENDEN, A. E.; COOMBER, H. E. & CORNEY, N. S. - 1951 - **The paper maker**. **122**(3): 179-95.
4. CLARK, A. G. & LEONARD, W. H. - 1939 - **J. Am. Soc. Agron.**, 31: 55-66.
5. COHEN, W. E. - 1960 - **Appita**, **14**(3): 108-24.
6. DADSWELL, H. E. & STEWART, C. M. - 1962 - In: **Australia CSIRO Division**. 39 p. (Forest products technological paper, 17) .
7. FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M. & BARRICHELO, L. E. G. - 1971 - **IPEF**, (2/3): 65-74.
8. GLEESON, G. L. - 1960 - **Svensk papperstidning**, **15** (6): 477-83.
9. HIGGINS, H. G. - 1970 - **Appita**, **23**(6): 417-26.
10. LEON, A. & BORGES, L, C. - 1967 - **Appita**, **21**(2): 41-7.
11. MAZZEI, F. M. & OVERBECK, W. - 1966 - **IPT**; publicação 758. 29 p.
12. MYBURGH, H. H. - 1967 - **Appita**, **21**(2): 49-53.
13. PEREIRA, R. A. G. - 1969 - **Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas da celulose sulfato de madeira de EUCALYPTUS SALIGNA Smith. EUCAL**

**YPTUS ALBA Reinw e EUCAL YPTUS GRANDIS Hill ex Maiden.**  
Piracicaba, ESALQ -USP. (Tese de doutoramento).

14. PETROFF, G. - 1964 - **Bois et forêts des tropiques**, 94: 25-39.
- 15.----- -1965 - **Bois et forêts des tropiques**, 103: 27-38.
16. PREBLE, B. - 1929 - **Paper trade journal**, **88** (26): 53-60.
17. RYDHOLM, S. A. & GEDDA, L. F. - 1967 - **Paper technology**, **8**(3): T61.
18. SANYER, N. - UNESCO/FAO Regional Symposium on Pulp and Paper Research and Technology in the Middle East and North Africa -**Proceedings**.
19. WATSON, A. J. & COHEN, W. E. - 1969 - **Appita**, **22**(4): 17-32.



## **NOSSAS ARVORES PARTICIPAM DO PROGRESSO DO BRASIL**

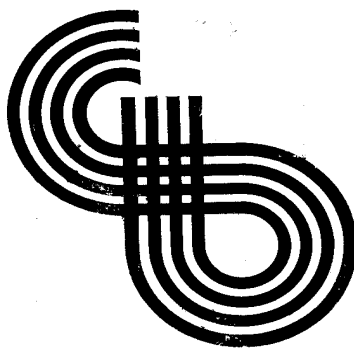
**CHAMPION CELULOSE S.A.**

Sede: Mogi Guaçu - S. P.

Caixa Postal 10 — Telefone 102

Rua Líbero Badaró 501 - 9.º andar  
São Paulo 2, S. P.

Endereço Telegráfico - Champion  
Fones: 37-1111 A 37-1117  
Telex N.º 021 - 105



O Grupo Battistella já colocou a sua marca em mais de 10.000.000 de pinheiros, na bacia do rio Canoas, no Estado de Santa Catarina.

É um trabalho que envolve planejamento, plantação, preservação e industrialização.

Em 72, milhares de novas árvores receberão a marca da tradição e experiência do Grupo Battistella.

Agora você já sabe que pinheiro também tem marca.  
**Indústria e Comércio de Madeiras Battistella S.A.**

Florestal Battistella S.A. — FLOBASA

Av. Marechal Floriano, 947, tel. 226 - Lages - SC

Av. São Luís, 50, 18.º, tel.: 257-2054 - São Paulo - SP

Av. Rio Branco, 156, 19.º, tel.: 252-6832

Rio de Janeiro - GB