

## CELULOSE KRAFT DE MADEIRAS JUVENIL E ADULTA DE **PINUS ELLIOTTII**

Celso Edmundo Bochetti Foelkel<sup>\*</sup>  
Luiz Ernesto George Barrichelo<sup>\*\*</sup>  
Walter Garcia<sup>\*\*\*</sup>  
José Otávio Brito<sup>\*\*\*</sup>

O. D. C. 861.14:174.7 *Pinus elliottii*

The purpose of this investigation was the study of juvenil and adult wood characteristics of ***Pinus elliottii*** and their influences on unbleached sulfate pulp.

Juvenil wood shown lower basic density, fiber length and wall thickness but higher fiber diameter.

Pulp yields were higher for adult wood.

Higher tensile and burst strength, lower strength were obtained from pulp of juvenil wood.

The author concluded that the proportion of juvenil and adult wood can define the pulp quality.

### 1. INTRODUÇÃO

Semelhantes a todos os seres vivos, as árvores passam por diferentes fases durante sua vida. Assim, podem se reconhecer um período juvenil, um período adulto ou de maturidade e um período de senescência. Externamente, existem, às vezes, evidências da ocorrência de um destes três períodos, como por exemplo, a presença de folhagem imatura ou sinais óbvios de senescência ou caducidade.

Do ponto de vista anatômico e químico ocorrem também importantes alterações na madeira formada em cada um destes períodos, especialmente no período juvenil. Estas variações estruturais da madeira conduzem a propriedades de utilização bem características. Faz-se, portanto, necessário um estudo detalhado do assunto, a fim de se poder prever as possíveis alterações nas qualidades dos produtos finais a serem obtidos de madeiras em diferentes estágios de desenvolvimento. Para a otimização do uso da madeira, todas as alterações estruturais e influências destas nos produtos finais precisam ser perfeitamente entendidas.

O problema de formação de madeira juvenil em povoamentos artificiais, principalmente naqueles do gênero ***Pinus***, é bem conhecido entre nós. A utilização desta madeira juvenil para produção de celulose kraft traz consigo uma série de interrogações, muitas das quais ainda não respondidas satisfatoriamente.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das características do lenho e propriedades das celulosas kraft obtidas de madeiras juvenil e adulta de ***Pinus elliottii***.

---

\* CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira S. A. - Chefe do Departamento de Controle de Qualidade.

\*\* Professor Assistente Dr. - Departamento de Silvicultura - ESALQ-USP

\*\*\* Engenheiros Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da ESALQ-USP

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Generalidades

Há muito tempo se reconhece que as características da madeira formada próxima à medula diferem daquelas da formada próxima à casca. Este fenômeno é mais notado para coníferas que para folhosas.

Como no passado a maior parte da madeira provinha de árvores idosas, adultas, pouca importância se dava a este cilindro central de madeira anormal, visto que sua proporção era relativamente pequena. Recentemente, com o decréscimo do suprimento de árvores velhas, de grande diâmetro, tornou-se prática comum a produção de madeira em ciclos curtos, através da adoção de espécies de rápido crescimento. Obviamente, estas árvores de menor diâmetro contêm uma maior proporção de madeira central de características diferentes. Torna-se, portanto, importante saber como este tipo de madeira difere das camadas mais externas.

Há inúmeras referências na literatura, mostrando que as propriedades químicas e estruturais da madeira formada nos primeiros anos de vida das árvores são anormais em relação à madeira mais velha. Tem-se procurado atribuir este fenômeno às condições ambientais que influenciam o crescimento, porém esta teoria é discutível (ZOBEL, 1961). O que se sabe é que realmente existe esta formação de madeira anormal e isso deve ser uma condição inerente a cada espécie (FOELKEL et alii, 1975).

Nos últimos anos a significância deste fenômeno tornou-se cada vez mais importante, principalmente porque seu entendimento se relaciona com o manejo dos povoamentos artificiais.

### 2.2. Terminologia

A madeira anormal formada próxima à medula é justamente a madeira mais velha dentro de uma árvore e por isso não é recomendável chamá-la de madeira jovem. Entretanto, como ela é formada no período de juvenilidade da árvore, parece apropriado se referir a ela como madeira juvenil, enquanto a madeira mais externa receberia a denominação de adulta.

Alguns autores preferem chamá-las respectivamente de madeira imatura e madura, mas estes termos se relacionam mais ao estágio de desenvolvimento da árvore. Logo, tornar-se-ia estranho chamar de imatura a madeira localizada próxima à medula de uma árvore de aproximadamente um século de idade.

Os termos madeira central e madeira periférica, também usados para designar estes dois tipos de madeira, são apropriados quando se está referindo a árvores que contenham ambos. Entretanto, quando se têm árvores novas, de pequeno diâmetro, onde toda a madeira possui ainda características juvenis, estes termos não são úteis para separar os dois tipos de madeira.

Desta forma, RENDLE (1960) propôs os seguintes conceitos para definir madeiras juvenil e adulta:

**Madeira juvenil:** é o xilema secundário formado durante os estágios iniciais da vida da parte considerada da árvore, durante o período chamado juvenilidade. Este período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais. A madeira

caracteriza-se anatomicamente por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento.

**Madeira adulta:** é o xilema formado após o período de juvenilidade, na parte da árvore que está sendo considerada. Em geral, as células desta madeira alcançaram suas dimensões máximas e estas se mantêm mais ou menos constantes, exceto quando são influenciadas drasticamente pelas condições ambientais.

Existem ainda algumas controvérsias a respeito da correta terminologia a ser usada e acerca da definição mais exata para o que seja madeira juvenil.

ZOBEL, et alii (1959), caracterizou a madeira juvenil em **Pinus taeda** por sua aparência: «Em uma seção transversal de uma tora, a madeira próxima ao centro da árvore mostra-se muito diferente da madeira localizada a alguma distância da medula. Ela tem uma aparência sem brilho ou sem vida, especialmente quando seca. Ela tem usualmente uma relação lenho inicial lenho tardio alta. Existe normalmente uma transição gradual do lenho inicial ao tardio, dando uma aparência diferente da madeira adulta, onde a transição é freqüentemente mais abrupta».

PAUL (1957), entretanto, mostra opinião diferente daquela de RENDLE (1960). Para PAUL, o termo madeira juvenil é aplicado à madeira com relativamente largos anéis de crescimento e baixa densidade, que é formada próxima à medula do caule. O termo é mais descritivo da madeira, que indicativo de um número específico de anos de crescimento. A madeira juvenil é seguida por uma progressiva redução na largura dos anéis de crescimento, que dá origem a uma madeira normal, do tipo adulto. O número de anos envolvidos nesta mudança diferiria em cada árvore. As alterações que ocorreriam nas larguras dos anéis e na densidade da madeira poderiam ser bastante amplas.

Ainda para PAUL, madeira juvenil seria encontrada em árvores de povoamentos artificiais ou em árvores situadas em condições favoráveis para rápido crescimento em diâmetro no início da vida. Nesta situação, as árvores que desenvolvessem copas grandes promoveriam rápido crescimento, com largos anéis. É por isso que a madeira juvenil é também chamada madeira formada pela copa, conforme TRENDELENBURG (1935). Quando passa a ocorrer competição por luz, espaço e nutrientes, há uma redução gradativa na expansão da copa e passa-se a formar madeira adulta.

A madeira juvenil foi denominada por TRENDELENBURG como madeira formada pela copa porque ela era formada quando a copa estava ativa. Como a folhagem ativa da copa move-se para cima com o conseqüente aumento da altura da árvore, a madeira formada pela copa era produzida a alturas progressivamente maiores. A madeira formada mais tarde, mais próxima à casca, era denominada madeira formada pelo caule e era produzida pelo câmbio a qualquer altura da árvore. Há evidências que a madeira formada pela copa de TRENDELENBURG, enunciada há quase meio século, corresponde atualmente à discutida madeira juvenil.

RENDLE (1960) argumenta que conforme o conceito emitido por PAUL (1957), se o ritmo de crescimento da árvore é restringido e a madeira formada neste caso for densa e de anéis estreitos, esta madeira não é reconhecida como juvenil e sim como adulta, embora próxima à medula, RENDLE afirma não existir justificativa para considerar apenas largos anéis e baixas densidades como características essenciais das madeiras juvenis.

ZOBEL (1961) reforçou os argumentos de RENDLE admitindo que muitos autores ainda apresentavam idéias confusas com respeito à formação de madeira juvenil. Segundo ele, alguns autores estabeleceram, no início das discussões, algumas hipóteses que se

arraigaram e permaneceram até os dias atuais. Por exemplo, admite-se ainda que madeira juvenil só é formada em árvores que possuem rápido crescimento. Entretanto, tem-se verificado que madeira juvenil pode-se formar em árvores que possuem ritmo de crescimento bem vagaroso.

### **2.3. Controle genético da formação de madeira juvenil**

A grande uniformidade das características da madeira juvenil a diversas alturas da árvore é verdadeiramente assombrosa, pelo menos para características como densidade, teor de celulose e comprimento de fibra. Parece que a formação de madeira juvenil está associada com o envelhecimento fisiológico, estando mais claramente relacionada com o número de anos do que com o volume de madeira formado a partir da medula (RENDLE & PHILLIPS, 1958; ZOBEL, 1961). Isso significa que estreitos possuem consideravelmente menor teor de madeira juvenil.

Este processo de produção de madeira juvenil é para ZOBEL (1961) decorrente de controle genético, em virtude das grandes variações encontradas entre árvores em povoamentos da mesma idade, desenvolvendo-se em ambientes similares. O fenômeno parece estar associado à regulação da atividade cambial por hormônios de crescimento, principalmente porque a formação de lenho tardio está associada a isso.

### **2.4. Variação na formação de madeira juvenil**

ZOBEL (1961) afirmou que em seus estudos sobre madeira juvenil observara que tanto **Pinus elliottii** como **P. taeda** mostram uma parte central juvenil na árvore, que se estende cilíndricamente da base até o topo. O diâmetro deste cilindro juvenil era maior para **Pinus taeda** que para **P. elliotti**. Em trabalho mais recente, ZOBEL et alii (1972) relataram a formação de madeira juvenil para **Pinus elliottii** até 6 a 9 anos, enquanto que para **P. taeda** isso ocorreria a uma idade de 7 a 11 anos. Estes resultados encontrados para **P. elliottii** no sul dos Estados Unidos da América foram confirmados por FOELKEL et alii (1975), estudando a mesma espécie quando se desenvolvia no sul do Brasil.

Por outro lado, BOUTELJE (1968) afirmou que para **Picea abies** o número de anéis juvenis variava de 6 a 20. Sabe-se que o número de anos de uma árvore tende a produzir madeira juvenil é bastante uniforme de sua base ao topo. Assim, a região central juvenil é mais ou menos cilíndrica em sua forma, desde que a taxa de crescimento seja uniforme através de toda a altura da árvore. Isso ocorre freqüentemente em povoamentos com espaçamentos moderados e não sujeitos a desbastes severos.

Embora o cilindro juvenil tenda a ser bastante uniforme numa árvore, ele varia amplamente entre árvores, quer seja em diâmetro ou em relação às características da madeira juvenil.

### **2.5. Propriedades da madeira juvenil**

Conforme ressaltado anteriormente, as propriedades da madeira juvenil diferem daquela considerada adulta. É importante frisar que não há, porém uma linha divisória bem evidente entre estas duas regiões. Além disso, o tipo de mudança não é necessariamente o mesmo para todas as características. Assim, o ponto arbitrariamente escolhido para limite entre as duas zonas pode variar de acordo com o critério adotado para tal.

Os exames realizados por inúmeros pesquisadores em madeira juvenil mostram que geralmente ocorrem certas mudanças graduais no padrão estrutural dos sucessivos anéis de crescimento anuais. Em muitos exemplos, há um aumento progressivo nas dimensões das células, com correspondentes mudanças na sua forma, estrutura, arrançamento, organização e proporção de tecidos.

A variação mais importante é a do comprimento da fibra que aumenta, em qualquer altura da árvore, da medula para a casca. No período juvenil os acréscimos anuais no comprimento médio da fibra são maiores. Na idade adulta, embora o comprimento da fibra ainda cresça com a idade, este crescimento é suave e bem menos pronunciado. Este tipo de variação foi descrito há mais de um século atrás por SANIO (1872) e desde então inúmeros pesquisadores o comprovaram tanto para coníferas como para folhosas. O aumento no comprimento da fibra da madeira de um ano de idade para aquela formada na maturidade atinge 3 a 4 vezes para o caso de coníferas. Para as folhosas esta variação é menor, atingindo 1,5 a 2 vezes. Em geral, admite-se que o período de juvenilidade se encerra quando o comprimento médio da fibra atinge um valor mais ou menos constante, com um suave acréscimo anual, tendendo a um valor máximo, assintoticamente. No caso de madeira de folhosas esta variação em comprimento se aplica também para os elementos de vaso.

A maioria das espécies florestais mostra modelos de variação similares para a densidade básica da madeira e espessura da parede das fibras. Em geral, as variações são muito mais pronunciadas para os lenhos tardios que para os lenhos iniciais, isso quando as espécies formam anéis de crescimento bem característicos.

Conforme enunciado anteriormente, as alterações nas dimensões das fibras concomitantemente promovem alterações na organização da parede celular. No caso, a mais importante modificação é aquela no ângulo de orientação das microfibrilas na camada S<sub>2</sub> da parede secundária. PRESTON (1948) derivou uma equação do tipo:

$$L = A + B \cot \theta$$

Onde

L = comprimento da fibra

$\theta$  = ângulo fibrilar

De acordo com esta relação, quando as fibras são curtas o ângulo é bastante aberto. Esta relação tem-se mostrado eficaz tanto para coníferas como para folhosas.

No caso das fibras juvenis de menor comprimento que as normais, observam-se ângulos fibrilares bem maiores, às vezes próximos a 90°. Levando-se em conta que o ângulo fibrilar exerce considerável influência na anisotropia das propriedades da madeira, sugere-se especial atenção para este detalhe no caso de muitas utilizações da mesma, como por exemplo, para estruturas e madeira serrada. Ângulos fibrilares abertos conduzem a alta variação dimensional da madeira no sentido axial.

Em resumo, as principais variações na qualidade da madeira formada no período juvenil, no sentido medula-casca são as seguintes: o comprimento de fibra aumenta e o ângulo fibrilar diminui estas alterações afetam sobre maneira a estabilidade dimensional e a resistência da madeira; a proporção de lenho tardio e a espessura da parede celular aumentam com conseqüente aumento da densidade básica e por extensão, da resistência da

madeira. Quimicamente existem evidências que os teores de holocelulose e de alfa-celulose aumentam e o de lignina diminui através do período de juvenilidade. (KIRK et alii, 1972; FOELKEL, 1973; MOORE & EFFLAND, 1974).

Estas variações são tais que, com o aumento da idade, a madeira se torna mais estável e mais resistente.

## **2.6. Variações nas propriedades da madeira adulta**

A alteração mais importante que ocorre nas árvores mais idosas, já no período de maturidade, é a transformação do albúrnio em cerne. Tem-se observado que este fenômeno passa a ocorrer quando as alterações em dimensões da fibra e organização estrutural da parede celular cessaram. Em geral, o cerne de uma árvore madura é bem uniforme quanto a suas propriedades, exceto na sua região central, onde se localiza o cilindro de madeira juvenil. (DADSWELL, 1960).

## **2.7. Produção de celulose de madeira juvenil e adulta**

Recentemente, em virtude da crescente escassez de madeira para celulose, ênfase especial tem sido dada ao uso de madeira juvenil para este fim. Uma grande quantidade deste tipo de madeira é disponível no momento a partir dos desbastes iniciais em povoamentos artificiais de **Pinus** spp. Atualmente, a tendência é procurar desenvolver, através do uso de melhoramento florestal, árvores de coníferas com características tais de madeira juvenil, que possam complementar o suprimento de madeiras de folhosas à indústria de celulose (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, 1971).

Diversos estudos sobre produção de celulose de madeira juvenil de **Pinus** foram apresentados por ZOBEL (1970). BAREFOOT et alii (1969) e FOELKEL (1973, 1976). Em geral, os autores observaram que a madeira juvenil produz celulose com menores rendimentos e resistência ao rasgo, mas maiores resistências à tração e ao arrebentamento e maior peso específico aparente que a madeira adulta.

# **3. MATERIAL E MÉTODOS**

## **3.1. Material**

O material utilizado neste experimento constituiu-se de discos de madeira de **Pinus elliottii** amostrados ao nível do DAP (diâmetro à altura do peito), em povoamento artificial com 14 anos de idade, localizado em Capão Bonito - SP.

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1. Obtenção e preparo dos discos de madeira**

Foram amostrados ao acaso dez árvores, as quais foram abatidas e, à altura do DAP de cada uma, retiraram-se discos de espessura próxima a 2 cm. Estes discos foram descascados e após secagem ao ar tiveram uma de suas faces transversais polidas a fim de permitir melhor distinção dos anéis de crescimento.

### **3.2.2. Obtenção dos cavacos de madeira**

Os cavacos foram obtidos através de picagem manual, separando-se dois lotes de cavacos:

**lote 1:** aqueles provenientes da madeira juvenil, correspondente aos anéis de crescimento até o oitavo ano de idade.

**lote 2:** aqueles provenientes da madeira adulta, formada a partir do nono ano de idade das árvores.

A idade de maturação da madeira para a espécie na região foi considerada de 8 anos, visto que FOELKEL et alii (1975) houveram preconizado que isso ocorreria entre o sétimo e o nono ano.

### **3.2.3. Determinação da densidade básica das madeiras**

Foi utilizado o método do máximo teor de umidade, conforme FOELKEL, BRASIL & BARRICHELO (1971).

### **3.2.4. Determinação das dimensões das fibras**

Foram determinadas por microscopia as seguintes dimensões das fibras: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular. Foram também calculadas as seguintes relações entre as dimensões fundamentais, consideradas importantes parâmetros na avaliação da qualidade de uma madeira para celulose: índices de enfeltramento e de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade.

### **3.2.5. Produção de celulose**

#### **3.2.5.1. Processo**

O processo empregado foi o kraft.

#### **3.2.5.5. Cozimentos**

Foram realizados dois cozimentos por tipo de madeira, visando-se a obtenção de graus de deslignificação comparáveis. O equivalente a 400 gramas de madeira absolutamente seca foi deslignificada em cada cozimento. As condições adotadas constam no quadro I.

## Quadro I: Condições dos cozimentos

Variável	Madeira	
	Juvenil	Adulta
Alcali Ativo	16	15
Sulfidez	30	30
Relação licor/madeira	4:1	4:1
Temperatura máxima	170°C	170°C
Tempo à máxima temperatura	1,5h	1,5h
Ciclo total do cozimento	3,5h	3,5h

### 3.2.5.3. Lavagem, depuração e determinação de rendimentos e graus de deslignificação

As celuloses obtidas foram lavadas, depuradas e a seguir determinaram-se os rendimentos brutos e depurados, os teores de rejeitos e os números kappa das mesmas.

### 3.2.6. Moagem

As celuloses foram refinadas em moinho centrifugal Jokro a sete tempos de moagem, a saber, 0, 15, 30, 40, 50, 60, e 75 minutos. A consistência de moagem foi de 6%. Para cada celulose e a cada tempo de refino determinava-se o grau de moagem expresso em termos de graus Shopper Riegler.

### 3.2.7. Formação de folhas

Utilizou-se para tal formador de folhas tipo Koethen Rapid com dois secadores. As folhas eram produzidas de forma a possuírem gramatura de aproximadamente 60 g/m<sup>2</sup>.

### 3.2.8. Ensaio físico-mecânicos das celuloses

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram determinadas nas celuloses conforme método TAPPI T 220 m-60 (TAPPI = Technical Association of the Pulp Paper Industry):

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

### 3.2.9. Resistência à tração e carga específica das fibras individuais de celulose

Mediante o uso de um dispositivo especialmente elaborado para tal fim e construído baseado no modelo desenvolvido por FOULGER (1969), foram determinadas:



- resistência à tração no sentido axial de fibras individuais de celulose obtidas de madeiras juvenil e adulta, expressa em gramas-força.

- carga específica de ruptura, expressa em miligramas-força/micron quadrado.

Conhecidas que eram as dimensões das fibras determinava-se a área da parede celular que suportava a carga até a ruptura. A carga específica era definida como a força suportada por unidade de área sólida da superfície transversal da fibra até a ruptura da mesma.

### 3.2.10. Opacidade das folhas de celulose

A opacidade das folhas de celulose, obtidas aos diversos tempos de moagem foi também determinada, através do uso de espectrofotômetro apropriado.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Dimensões das fibras

Os resultados obtidos para as dimensões médias das fibras aparecem no quadro II.

**Quadro II:** Dimensões médias das fibras

Dimensão	Madeira	
	Juvenil	Adulta
Comprimento da fibra (mm)	3,49	3,75
Largura da fibra ( $\mu$ )	42,84	38,40
Diâmetro do lúmen ( $\mu$ )	28,72	22,08
Espessura da parede celular ( $\mu$ )	7,06	8,16

As principais relações entre as dimensões estão relatadas no quadro III.

**Quadro III:** Relações entre as dimensões fundamentais das fibras

Relação	Madeira	
	Juvenil	Adulta
Índice de enfiletramento	82	98
Índice de Runkel	0,492	0,739
Fração parede (%)	33	43
Coefficiente de flexibilidade (%)	67	58

### 4.2. Densidade básica da madeira

Os resultados médios encontrados para a densidade básica das madeiras estão apresentados no quadro IV.

**Quadro IV:** Densidade básica das madeiras

Madeira	Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ )
Juvenil	0,412
Adulta	0,545

### 4.3. Propriedades das celuloses

#### 4.3.1. Rendimentos e graus de deslignificação

Os rendimentos médios encontrados para as celuloses kraft de madeira juvenil e adulta de **Pinus elliottii**, bem como os graus de deslignificação correspondente, expressos como número kappa, aparecem no quadro V.

**Quadro V:** Rendimento e números kappa médios das celuloses

Propriedade	Madeira	
	Juvenil	Adulta
Rendimento bruto (%)	48,6	49,1
Rendimento depurado (%)	46,0	46,9
Teor de rejeitos (%)	2,6	2,2
Número kappa	36,2	36,6

#### 4.3.2. Propriedades físico-mecânicas das celuloses

Os valores médios obtidos para as propriedades físico-mecânicas das celuloses de madeira juvenil e adulta constam dos quadros VI e VII respectivamente.

**Quadro VI:** Propriedades físico-mecânicas da celulose kraft de madeira juvenil de **Pinus elliottii**

Tempo de moagem	0	15	30	40	50	60	75
Grau de moagem	10	12	14	17	22	33	64
Gramatura	59,3	57,6	56,8	56,5	56,0	55,5	56,1
Resistências							
-tração	2,4	7,1	6,7	7,3	7,4	7,6	7,8
-arrebentamento	10,9	39,9	41,2	43,8	43,9	41,3	45,0
-rasgo	193	150	137	132	130	127	111
Esticamento	0,10	2,22	2,02	2,30	2,52	2,40	2,75
Espessura	0,165	0,108	0,101	0,098	0,097	0,096	0,093
Peso específico aparente	0,360	0,538	0,560	0,572	0,574	0,579	0,599
Volume específico aparente	1,78	1,86	1,78	1,75	1,74	1,73	1,67

**Quadro VII:** Propriedades físico-mecânicas da celulose kraft de madeira adulta de **Pinus elliottii**

Tempo de moagem	0	15	30	40	50	60	75
Grau de moagem	10	11	14	22	31	44	72
Gramatura	66,9	66,2	64,7	62,2	62,6	62,5	61,4
Resistências							
-tração	2,3	5,1	5,7	6,5	6,6	6,5	6,5
-arrebentamento	7,5	32,4	36,4	33,6	40,8	38,8	38,2
-rasgo	188	246	225	208	196	168	144
Esticamento	0,15	1,87	2,17	2,30	2,30	2,40	2,87
Espessura	0,190	0,135	0,127	0,117	0,116	0,112	0,106
Peso específico aparente	0,352	0,488	0,509	0,519	0,537	0,555	0,577
Volume específico aparente	2,84	2,05	1,97	1,89	1,84	1,80	1,73

A seguir, interpolaram-se matematicamente para 20, 40 e 60°SR, os valores das seguintes propriedades: resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, esticamento e peso específico aparente.

Os resultados obtidos aparecem no quadro VIII.

**Quadro VIII:** Propriedades das celuloses a 20, 40 e 60°SR

Propriedades da celulose por tipo de madeira	Grau de moagem (°SR)		
	20	40	60
Resistência a tração			
- madeira juvenil	6,9	7,8	7,9
- madeira adulta	5,7	6,7	7,0
Resistência ao arrebentamento			
- madeira juvenil	43,8	44,2	45,0
- madeira adulta	35,8	38,4	38,9
Resistência ao rasgo			
- madeira juvenil	134	114	112
- madeira adulta	202	173	160
Esticamento			
- madeira juvenil	2,22	2,70	2,72
- madeira adulta	2,09	2,60	2,78
Peso específico aparente			
- madeira juvenil	0,557	0,580	0,587
- madeira adulta	0,512	0,541	0,569

#### 4.3.3. Resistências das fibras individuais das celuloses

Os resultados médios obtidos para as resistências de uma única fibra constam do quadro IX.

**Quadro IX:** Resistências das fibras individuais

Propriedade	Madeira	
	Juvenil	Adulta
Resistência à tração (carga de ruptura, em gramas - força)	16,6	25,0
Carga específica para ruptura, em mgf/μ <sup>2</sup>	20,91	32,24

#### 4.3.4. Opacidade das celuloses

Os resultados médios obtidos para opacidade das folhas de celulose de gramaturas próximas a 60 g/m<sup>2</sup> constam do quadro X.

**Quadro X:** Opacidade das celuloses (%)

Tempo de moagem	0	15	30	40	50	60	75
Opacidade							
- madeira juvenil	91,9	86,8	86,6	86,1	85,5	84,6	84,3
- madeira adulta	91,3	89,0	88,7	88,1	88,1	87,8	87,1

A seguir, os resultados para a opacidade foram interpolados para 20, 40 e 60°SR, e os valores médios encontrados aparecem no quadro XI.

**Quadro XI:** Opacidade das celulosas a 20, 40 e 60°SR

Grau de moagem	20	40	60
Opacidade			
- madeira juvenil	85,5	84,5	84,3
- madeira adulta	88,4	88,0	87,5

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

a) A madeira juvenil de **Pinus elliottii** caracteriza-se por apresentar densidade básica, comprimento de fibra e espessura da parede celular inferiores à da madeira adulta, entretanto, a largura das suas fibras é maior.

b) As fibras da madeira adulta possuem índices de enfiamento e de Runkel, e fração parede maiores que as de madeira juvenil, e coeficiente de flexibilidade menor. Estas características sugerem uma maior flexibilidade das fibras de madeira juvenil, permitindo assim uma melhoria nas propriedades que dependem da interligação das fibras, mas acompanhada de um acréscimo da resistência ao rasgo.

c) Para graus de deslignificação comparáveis, a madeira adulta necessitou de menor quantidade de álcali e produziu celulosas com rendimentos ligeiramente superiores, com menores teores de rejeitos.

d) A celulose de madeira juvenil apresentou resistências à tração e ao arrebentamento ligeiramente superiores, mas a resistência ao rasgo foi bastante inferior àquela obtida de madeira adulta. Tendo em vista a resistência ao rasgo é uma propriedade da celulose que é altamente dependente da resistência individual das fibras, visto que na ação de rasgamento inúmeras fibras são partidas, pode-se explicar a maior resistência ao rasgo da celulose de madeira adulta baseado nos resultados do quadro IX. Por outro lado, as resistências à tração e ao arrebentamento são mais dependentes das forças de ligação entre fibras. Como as fibras de madeira juvenil possuem maior habilidade de interligação, estas resistências foram melhores para as celulosas obtidas da mesma.

e) A celulose de madeira juvenil mostrou maior peso específico aparente que a de madeira adulta para mesma gramatura. Isto se deve à maior flexibilidade das suas fibras, que se interligam melhor e se colapsam com a refinação devido a menor espessura das paredes celulares. Esta característica colaborada também numa menor opacidade para a celulose de madeira juvenil, conforme se pode observar nos quadros X e XI.

Do exposto, pode-se observar que a proporção de madeira juvenil e adulta na árvore condiciona a qualidade de celulose a ser obtida do material. Ressalte-se que esta proporção pode ser controlada em povoamentos homogêneos de **Pinus** através de práticas tais como: espaçamentos, fertilização mineral, tratamentos culturais de limpeza, desbastes e melhoramento genético.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAREFOOT, A. C. et alii - **The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties.** Raleigh. North Carolina Agricultural Experiments Station, 1970. 89 p. (Technical bulletin, 202).

- BOUTELJE, J. - Juvenile wood with particular reference to northern spruce. **Svensk papperstidning**. Estocolmo, **71**(17): 581-7, 1968.
- DADSWELL, H. E. - Tree growth-wood property inter -relationships. In: SPECIAL FIELD INSTITUTE IN FORESTRY BIOLOGY - **Proceedings**. 1960. p. 3-86.
- EINSPAHR, D. W.; VAN BUIJTENEN, J. P. & PECKHAM, J. R. - **Silvae genetica**, Frankfurt, **18**(3): 57-61, 1969.
- FOELKEL, C. E. B. - Celulose kraft de Pinus spp. **O papel**, São Paulo, **38**(1): 49-67, jan.1976.
- FOELKEL, C. E. B. - **Unbleached kraft pulp properties of some, of the Brazilian and U. S. pines**. Syracuse, SUNY, College of Environmental Science and Forestry, 1972. 192 p. (Tese - Mestrado).
- FOELKEL, C. E. B., BRASIL, M. A. M. & BARRICHELO, L. E. G. - Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, (2/3) :65-74. 1971.
- FOELKEL, C. E. B. et alii - Variabilidade no sentido radial de madeira de **Pinus elliottii**, **IPEF**, Piracicaba, (10) : I-II, 1975.
- FOULGER, A. N. - **Classroom demonstrations of wood properties**. Madison, Forest Products Laboratory, 1969. 34 p. (USDA. Forest Service, FPL -PA -900).
- KIRK, D. G.; BREEMAN, L. G. & ZOBEL, B. J. - **TAPPI**, Atlanta, **42**(5): 345-56, 1959.
- MOORE, W. E. & EFFLAND, M. - Chemical composition of fast-growth juvenile wood and slow-growth mature sycamore and cottonwood. **Tappi**, Atlanta, **57**(8): 96-8, 1974.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Cooperative Tree Improvement Program - **Fifteenth annual report**. Raleigh, 1971. 50 p.
- PAUL, B. H. - **Juvenile wood in conifers**. Madison, Forest Products Laboratory, 1957. 8 p. (USDA. Forest Service report, FPL -2094).
- PRESTON, R. D. - **Biochemistry and biophysics acta**, **2** : 370. 1948.
- RENDLE, B. J. - Juvenile and adult wood. **Journal of the Institute of Wood Science**, **5**: 58-61, 1960.
- RENDLE, B. J. & PHILLIPS, E. W. J. - The effect of rate of growth (ring width) on the density of softwoods. **Forestry**, Oxford, **31**(2): 113-20, 1958.
- SANIO, K. - **Jahrb F. Wissen Botany**, **8**: 401, 1872.

TRENDELENBURG, E. - Schwankungen des raumge wicths wichtiger nadelholzer nach wuchsgebiet, standort und einzelstam. **Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure**, **79**(4): 85-9, 1935.

ZOBEL, B.; WEBB, C. & HENSON, F. - Core or juvenile wood of loblolly pine trees. **Tappi**, Atlanta, **42**(5): 345-56, 1959.

ZOBEL, B. - Juvenility in wood production. In: **Recent advances in botany**. Toronto, 1961. p. 1663-5.

ZOBEL, B. J. - **Tappi**, Atlanta, **53**(12): 2320-5, 1970.



# **REFLORA REFLORESTADORA E AGRÍCOLA S.A**

**UMA EMPRESA DA FUNDAÇÃO JOSÉ CARVALHO FILHO**

## **ATIVIDADES PRINCIPAIS:**

- **Elaboração e Execução de Projetos de Reflorestamento próprio e de terceiros;**

**(Portaria DC-10 de 20.06.75 do IBDF e Incentivo Fiscal  
Lei 5.106 de 02.09.66 e Dec. Lei 1.134 de 16.11.70)**

- **Elaboração de Projetos Agro-Pecuarios;**
- **Produção e Comercialização de carvão vegetal.**

## **ENDEREÇO:**

*Sede — Rua Miguel Calmon, 38/42 S/810/11  
Fone 2-4111 Salvador-Bahia.  
Escritório de operações — Pojuca — Bahia.*

# Nós temos uma vocação irresistível para implantar florestas.

Continuamente nós estamos aumentando a nossa capacidade de produção, a fim de atender, com nossos produtos e serviços, às crescentes exigências do mercado brasileiro e do Exterior.

E a base de todas as nossas atividades são as reservas florestais, que que por vocação e interesse implantamos em Santa Catarina.

Se sua empresa também tem interesse em fazer um bom investimento de incentivos fiscais, venha conversar conosco.



Olinkraft Celulose e Papel Ltda.  
Av. Brigadeiro Luiz Antonio, 4531.  
Caixa Postal 7577 - São Paulo - SP.  
Fábricas: Lages, SC - Jundiá, SP.







# COMPANHIA AGRO FLORESTAL MONTE ALEGRE



**ELABORAÇÃO, EXECUÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE PROJETOS  
FLORESTAIS**

**VENDA DE MUDAS DE PINUS TROPICAIS, EUCALYPTUS E  
ESSÊNCIAS NATIVAS**

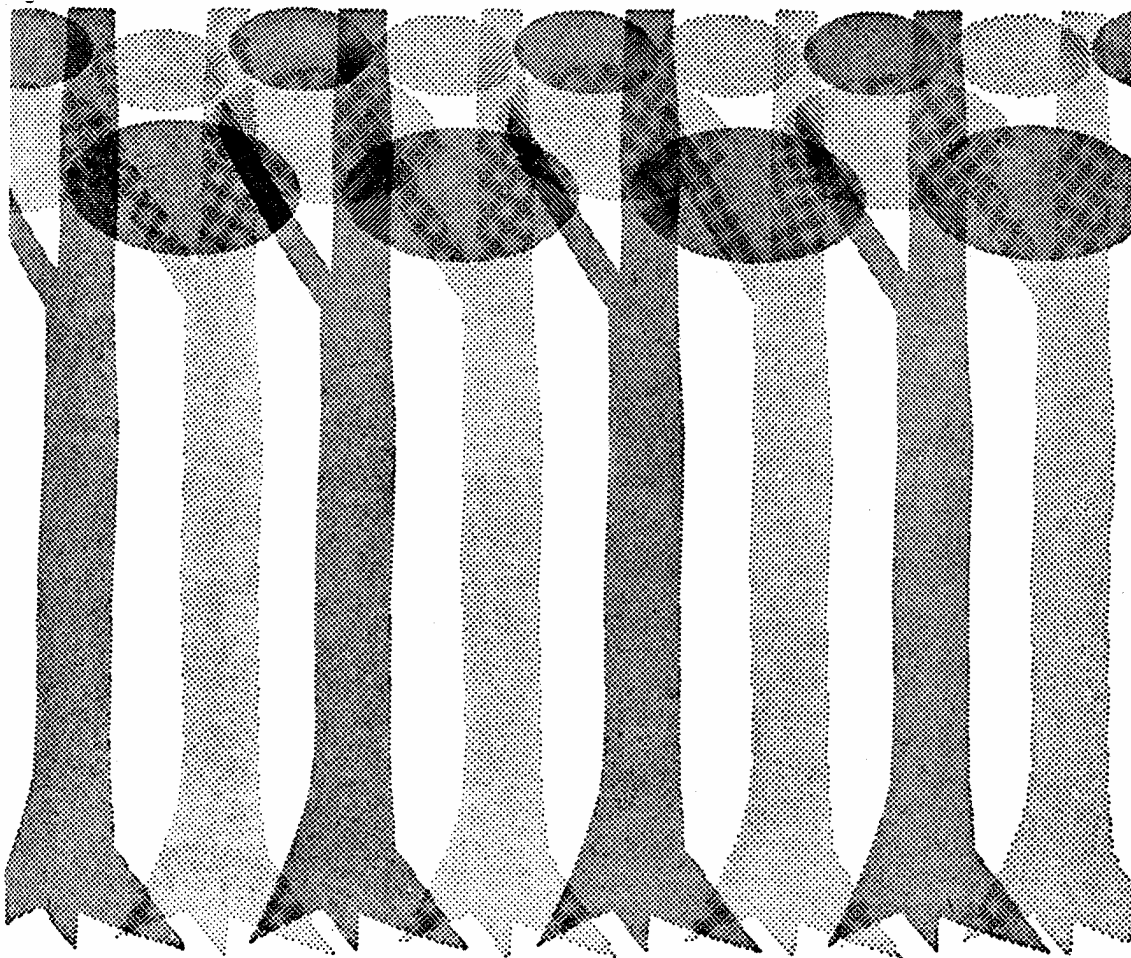
**VENDA DE SEMENTES DE PINUS TROPICAIS E TEMPERADOS:**

<i>Pinus caribaea</i>	var.	<i>hondurensis</i> ,
<i>Pinus caribaea</i>	var.	<i>caribaea</i> ,
<i>Pinus caribaea</i>	var.	<i>bahamensis</i> ,
<i>Pinus kesiya</i> ,		
<i>Pinus oocarpa</i> ,		
<i>Pinus elliottii</i>	var.	<i>elliottii</i> ,
<i>Pinus elliottii</i>	var.	<i>densa</i> , etc

**VENDA DE MADEIRA TRATADA (PALANQUES, REPIQUES, POSTES)**

**ENDEREÇO: FAZENDA MONTE ALEGRE  
CAIXA POSTAL N.º 50 – AGUDOS SP  
FONES: 179, 251 e 300**

**VIVEIROS PRÓPRIOS – MAIS DE 15 ANOS DE EXPERIÊNCIA**



## Construtores de florestas.

Muito antes de instalarmos nossa unidade industrial em Guaíba, já estávamos trabalhando em reflorestamento. Povoando com florestas de eucaliptos os campos e as coxilhas do Rio Grande do Sul. Hoje, temos 23.000 hectares plantados. Breve, ampliaremos esta área para 33.000 hectares. Na realidade, não fabricamos apenas celulose. Com orgulho somos também construtores das florestas que o Brasil tanto necessita.

mpim



INDÚSTRIA DE CELULOSE BORREGAARD S.A.