ABTCP
Reg. 2474

Pinus elliotti: FIBRA LONGA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT

CELSO EDMUNDO BOCHETTI FOELKEL
WALTER GARCIA
JOSÉ HÉLIO NEHRING
ANTÔNIO SÉRGIO DINIZ
JORGE VIEIRA GONZAGA
CENIBRA ESALQ

SUMMARY

The purpose of this experiment was the study of the wood of Brazilian slash pine its ability to be transformed in good quality kraft pulp. First, the wood was investigated in concern to its variability in the radial and longitudinal direction. The characteristics of earlywood and latewood pulps were also studied to help the understanding of pulp quality variations. Following, the slash pinewood from different Brazilian provenances were tested for kraft pulping in comparison to the woods of American slash pine and Parana pine. The authors concluded that the quality of the pulps obtained from the Brazilian *Pinus elliottii* is similar to those from the American. Also, a strong correlation between wood quality and pulp quality was observed. Based on this fact, some anternative forest managements are suggested to increase wood quality.

1 - INTRODUÇÃO

Dentre as espécies de Pinus utilizadas para reflorestamento no Brasil, *Pinus elliottii* tem-se mostrado como uma das mais importantes. As principais razões para tal são o seu excelente ritmo de desenvolvimento e a facilidade de obtenção de sementes. Esta última, inclusive, contribuiu para que inúmeros plantios desta espécie fossem realizados em regiões ecologicamente não favoráveis, daí a má forma florestal e o baixo desenvolvimento mostrado pela espécie em regiões de clima tendendo ao tropical. Entretanto, desde que os povoamentos sejam implantados em regiões de clima temperado, entre 22 e 30 graus de latitude sul, o desenvolvimento volumétrico é muito bom, atingindo de 15 a 25 estéreos/ha/ano. Por outro lado, reconhece-se atualmente que altas produções volumétricas não correspondem necessariamente a alta qualidade de madeira. Inclusive, a qualidade da madeira de *Pinus elliottii* tem sido bastante questionável em razão de: a) alto teor de resinas; b) baixa densidade, principalmente nos plantios localizados nos estados do Paraná e Santa Catarina; c) alta proporção de madeira juvenil; d) desconhecimento do modelo de variabilidade da madeira; e) uso para fins não recomendáveis.

Em razão da ampla variação encontrada para as características da madeira em diferentes locais do Brasil, tem-se atribuído como principal fator a regular a qualidade da madeira da espécie, a localização geográfica dos povoamentos. VAN DER SLOOTEN et alii, 1976 concluíram que a quantidade de chuva e a sua distribuição durante o ano tem uma importância marcante na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* no sul do Brasil. Nas regiões mais úmidas, com chuvas melhores distribuídas, o crescimento volumétrico é maior, porém ocorre uma maior formação de madeira juvenil, há um maior teor de lenho inicial em relação ao tardio, e a densidade da madeira é menor. Uma das formas de se minimizar este problema seria através do espaçamento, embora ainda se questione a validade desta técnica. A adoção de espaçamentos apertados no início, implicaria em diminuição do incremento volumétrico nas idades jovens, quando se forma madeira juvenil. Após os 7 a 9 anos, poder-se-ia abrir o espaçamento por desbaste e a madeira formada pela árvore, já adulta, teria uma qualidade superior.

Em regiões com inverno mais seco, como o sul do estado de São Paulo, o desenvolvimento volumétrico é inferior ao observado em Santa Catarina, porém a densidade da madeira chega a ser 30 a 40% maior.

Este trabalho constituiu-se em mais uma contribuição dos autores, ao estudo da espécie *Pinus elliottii* para produção de celulose. O projeto *Pinus elliottii*, desenvolvido nos laboratórios da Seção de Química, Celulose e Papel da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" envolveu os seguintes tipos de estudo: a) estudo da variabilidade radial da madeira para determinação do término do período de juvenilidade (publicado em IPEF 10, 1975); b) estudo da influência da densidade da madeira na qualidade da celulose kraft (O Papel 36(10), 1975); c) estudos sobre a qualidade da madeira e celulose de madeiras juvenil e adulta da espécie (IPEF 12, 1976); d) estudo da variabilidade da madeira no sentido longitudinal; e) estudos sobre a qualidade da madeira e celulose de lenhos inicial e tardio; f) estudo das características da madeira e da celulose de materiais provenientes de regiões geográficas diferentes; g) comparações entre as qualidades da madeira e da celulose dos *Pinus elliottii* desenvolvidos no Brasil com os resultados obtidos em idênticas condições para *Pinus elliottii* norte-americano e *Araucaria angustifolia* do sul do Brasil; h) otimizações física e econômica para a produção de celulose kraft de *Pinus elliottii*.

Os itens **d** a **g** serão discutidos neste trabalho.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Variabilidade da madeira no sentido radial

Em trabalho recente, FOELKEL et alii, 1975, estudaram a variabilidade radial da madeira de *Pinus elliottii*, lenho a lenho, na altura do DAP. Os autores observaram que a variabilidade do lenho tardio era sempre mais pronunciada, ao passo que para o lenho inicial, muitas propriedades praticamente não variavam, ou, se o faziam, era em pequena escala. Com base nos modelos de variação encontrados, estimou-se que o término do período juvenil ocorria a espécie às idades de 7 a 9 anos.

2.2 - Variabilidade da madeira no sentido axial ou longitudinal

Os modelos de variação dos elementos estruturais e das propriedades físicas das madeiras de coníferas são relativamente bem estudados, principalmente para árvores de povoamento homogêneos. Esta variabilidade é função primeira da ação do câmbio, a qual é influenciada por inúmeros fatores, genéticos e ambientais.

Em geral, a variabilidade dentro de uma árvore, quer no sentido radial ou axial, é bem menor que entre árvores. Daí às vezes torna-se difícil detectar alguns tipos de variações devido sua pequena magnitude.

A qualidade de uma madeira para uma dada utilização depende da variabilidade dos componentes da mesma. Esta variação ocorre tanto no sentido axial com radial. A variação total e as correspondentes modificações nas propriedades físicas da madeira do tronco podem ser consideradas com base nestes dois eixos, em virtude da simetria dos caules normais.

Foram encontradas na literatura as seguintes informações sobre a variabilidade no sentido axial da madeira de coníferas:

2.2.1 - Comprimento da fibra

Dentro de um mesmo lenho de crescimento, o comprimento da fibra aumenta suavemente da base para uma altura pouco acima do DAP e depois decresce com o aumento da altura, atingindo seu mínimo valor no vértice do cone formado pelo final do lenho. Este tipo de variação foi preconizado por SANIO em 1872 e tem sido freqüentemente confirmado tanto para coníferas como para folhosas. (WHEELER et alii, 1966).

2.2.2 - Espessura da parede das fibras

Existem muito poucas referências sobre a variação da espessura da parede das fibras no sentido axial da árvore. LARSON, 1966, observou que esta variação era muito pequena para *Pinus resinosa*, quer nos lenhos inicial ou tardio. Entretanto, MAINIERI et alii, 1974, notaram que a espessura da parede das fibras de *Araucaria angustifolia* aumentava ligeiramente com a altura, até 10 metros para altura da árvore, e depois caia rápidamente.

2.2.3 Largura das fibras

Para *Araucaria angustifolia*, MAINIERI et alii, 1974, observaram um acréscimo da largura média do traqueído de aproximadamente 20% nos cinco primeiros metros de altura da árvore. A seguir, esta largura se estabilizava para alturas superiores.

2.2.4 - Densidade básica da madeira

ZEEUW, 1970, sumarizou três tipos principais de variação da densidade básica da madeira com a altura: a) uniformemente decrescente da base para o ponteiro; b) decrescente na parte inferior do tronco e crescente na parte superior; c) crescente da base para o ponteiro num modelo não uniforme.

Esta deve ser a razão de relatos tão contraditórios na literatura. BRASIL, 1972, revisando as variações da densidade básica refere-se ao trabaslho de HARRIS, que confirmou esta contradição acerca de variação da densidade ao longo do eixo longitudinal.

Em geral para coníferas, e especialmente para *Pinus e Araucaria*, ocorre um decréscimo da densidade da madeira da base para o topo (ZEEUW, 1970; MAINIERI et alii, 1974). Este modelo não é comum para folhosas, embora possa ocorrer.

Relativamente ao segundo tipo de variação citado por ZEEUW, alguns autores argumentaram a possibilidade de que o modelo real estivesse mascarado pela presença de nós de alta densidade. Parece, porém, que para algumas espécies, a copa exerce influência na elevação da densidade da madeira próxima a ela.

O acréscimo da densidade com a altura é mais comum para folhosas, embora possa ocorrer também como coníferas.

PAUL, 1932, apresentava um outro tipo de variação para *Pinus elliottii*. A densidade aumentava ligeiramente até a altura do DAP e depois decrescia.

A maioria destas afirmações foram obtidas com discos de toda seção transversal, tomados a diferentes alturas. Poucas informações são encontradas para a variação da densidade básica dentro do mesmo lenho de um anel de crescimento.

2.3 - Madeiras juvenil e adulta em *Pinus elliotti*

Em trabalho recente, FOELKEL et alii, 1976, analisaram as diferenças entre as qualidades da madeira e da celulose kraft de *Pinus elliottii*. Como conclusões os autores observaram que a madeira juvenil era menos densa, suas fibras mais flexíveis e curtas, com paredes mais delgadas, permitindo assim melhor ligação entre fibras na formação do papel, com prejuízo porém para a resistência ao rasgo. A madeira adulta era mais facilmente deslignificável e conduzia a maiores rendimentos em celulose. A celulose de madeira juvenil apresentou resistências à tração e ao arrebentamento ligeiramente superiores, mas a resistência ao rasgo e a opacidade das folhas eram inferiores as de madeira adulta.

2.4 - Madeiras dos lenhos inicial e tardio na produção de celulose

Há muito tempo se reconhece que as fibras dos lenhos inicial e tardio possuem características diferentes para produção de celulose. Uma das primeiras afirmações neste sentido foi feita por CROSS & BEVAN, 1920, os quais relataram que as fibras do lenho inicial davam folhas mais densas, quebradiças e transparentes, quando bastante refinadas. A partir daí, muitas pesquisas foram realizadas, e em geral, os lenhos eram separados, e a seguir, deslignificados em cozimentos distintos. NILSSON 1926, produzindo celulose kraft de ambos os lenhos de Pinus observou que as celuloses do lenho tardio possuiam maior resistência ao rasgo, mas menores resistências à tração e ao arrebentamento que as de lenho inicial. Estas diferenças foram atribuídas às paredes mais espessas das fibras de lenho tardio.

CHIDESTER & Mc GOVERN, 1938, utilizaram madeiras de *Pinus* com quantidades variáveis de lenhos inicial e tardio. Os autores observaram que quanto maior o teor de fibras de lenho inicial, melhor era a ligação entre fibras, porém a resistência ao rasgo caia.

Estudos mais recentes, por HOLZER & LEWIS, 1950; WATSON & HODDER, 1954; WANGAARD, 1958, confirmaram que as fibras do lenho inicial produziam folhas com alta ligação e necessitavam pequeno refino para alcançar altas resistências à tração, arrebentamento e dobramento.

WATSON & DADSWELL, 1962, utilizaram técnica ligeiramente diferente do que vinha sendo empregada pelos pesquisadores. Os autores produziram inicialmente celulose de lenhos inicial e tardio em separado, e a seguir misturavam-nas em diferentes proporções. Observou-se que as propriedades que dependiam da ligação entre fibras eram melhores para a celulose que continha 100% de fibras de lenho inicial. Por outro lado, a resistência ao rasgo da celulose de *Pinus* era maior para alta proporção de fibras de lenho tardio. Esta propriedade não se mostrou afetada para altos teores de fibras de lenho tardio para *Eucalyptus*. Usando esta técnica os autores podiam estimar qual a proporção desejada de fibras de um e outro lenho, para uma dada utilização da celulose. WATSON & DADSWELL afirmaram categoricamente que a presença de fibras de paredes espessas em *Eucalyptus* provocaram uma redução em todas as resistências da celulose.

GLADSTONE et alii, 1970, interpretaram de outro ponto de vista a inter-relação entre os dois tipos de lenho. Segundo os autores, quase todas as pesquisas no assunto tratavam da avaliação direta das celuloses obtidas de lenhos inicial e tardio que haviam sido previamente separados. A técnica adotada foi de deslignificar os cavacos integrais de *Pinus* e depois, com uma lâmina, separar os lenhos já amolecidos. Foi levantada a hipótese de que a distribuição dos agentes de deslignificação seria diferente em ambas as frações, em virtude da penetração ser função do tamanho do sistema capilar correspondente aos diâmetros do lúmen. As informações encontradas na literatura costumam ser contraditórias ao afirmar qual tipo de lenho é mais fácilmente penetrado. Os autores observaram que o lenho tardio produziu celulose com rendimentos que eram superiores entre 2 a 7%, em base madeira absolutamente seca, a do lenho inicial. Esta diferença foi atribuída à maior resistência à degradação das fibras do lenho tardio. É bem sabido que o lenho tardio possui maiores teores em holo e alfa-celuloses e menor teor de lignina.

2.5 - Celulose kraft de madeira de *Pinus elliottii*

A madeira de *Pinus elliottii* constitui-se em matéria-prima de boa qualidade para a indústria de celulose kraft. Existem diversos trabalhos realizados em nossas condições, mostrando que esta celulose possui resistências comparáveis aos resultados obtidos nos Estados Unidos e Canadá para outras coníferas, à exceção da resistência ao rasgo, que se tem mostrado inferior. Esta resistência ao rasgo inferior pode ser atribuída ao uso de madeiras com alta proporção de madeira juvenil, visto que a maior parte dos povoamentos desta espécie ainda são jovens.

REDKO & GUIMARÃES, 1970, relataram os resultados obtidos para produção de celuloses e NSSC com alto rendimento e qualidade, a partir de *Pinus elliottii* de 8 anos de idade. A resistência à tração bastante alta e a baixa resistência ao rasgo foram atribuídas à imaturidade das fibras.

ZVINAKEVICIUS, 1968, estudando a produção de celulose kraft de *Pinus elliottii* jovem, considerou os resultados para resistência ao rasgo como desapontadores, para a celulose obtida em laboratório. Os resultados obtidos pelo autor, com cozimentos industriais se mostraram porém mais animadores.

As mesmas tendências para a celulose kraft, ou seja, alta tração e arrebentamento e baixa resistência ao rasgo, foram também observadas por FOELKEL, 1973, que ainda apontou como problemas das madeiras jovens, a baixa densidade da madeira e o rendimento em celulose inferior, quando comparado com *Auracaria angustifolia*.

KOERICH et alii, 1972, estudaram industriamente, a utilização de celulose kraft de *Pinus elliottii* de 10 anos de idade, para produção de papel e cartão kraft. Os autores notaram uma maior facilidade de refino para a celulose do *Pinus*, em comparação com a de *Araucaria*. A resistência ao arrebentamento foi superior para o Pinus, a resistência à tração similar e a resistência ao rasgo inferior, quando comparados às obtidas de *Araucaria angustifolla*. Tendo em vista os resultados obtidos, os autores sugeriram um ciclo de 15 anos para a espécie na região de Santa Catarina.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3. 1 - Material

Os materiais utilizados neste experimento foram os seguintes:

Espécie	Tipo de amostra	Local	Idade (anos)
P. elliottii	discos a diversas alturas	Agudos -S.P	[illegible]
P. elliottii	cavacos	Lages - S.C	8
P. elliottii	cavacos	Capão Bonito -S.P.	8
	"	"	10
	"	"	12
P. elliottii	cavacos	Savannah,Georgia U.S.A	20
A. angustifolia	cavacos	Lages - S.C.	20

3 2 - Métodos

3.2.1 - Determinação da variabilidade da madeira no sentido axial.

Foi utilizada para este estudo a madeira proveniente de Agudos - S.P. As variações dimensionais médias dos traqueídos, da densidade básica e dos teores de lenhos foram investigados ao nível de seis alturas pré-estabelecidas, proporcionando um amplo campo de observações.

As características analisadas para cada lenho foram as seguintes: comprimento e largura dos traqueídos, diâmetro do lúmen, espessura da parede celular; índice de Runkel, fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de enfeltramento dos traqueídos: densidade básica. Foram também determinados os teores de lenhos inicial e tardio para cada anel de crescimento estudado, bem como a densidade básica do anel de crescimento.

Foram sorteadas em povoamento representativo do crescimento da espécie na região correspondente, três árvores nas quais se serraram discos às alturas de 0,30 m, 1,30 m (DAP), 2 m, 4 m, 6 m, e 8 m. Os discos tiveram uma de suas faces polidas, proporcionando assim uma perfeita identificação dos anéis de crescimento e dos lenhos componentes. Os anéis de crescimento e os lenhos encontravam-se bem definidos e para efeito de identificação foram numerados de 1 a 12 no sentido casca-medula. Isso significa que o anel número 1 correspondia à madeira formada no décimo segundo ano de vida da árvore e o de número 12 à madeira de um ano. Foram tomados como amostras os anéis de números 1, 4, 7 e 9, correspondentes às idades de 12, 9, 6 e 4 anos, respectivamente. Nestes materiais foram realizadas todas as análises mencionadas anteriormente, A metodologia utilizada foi semelhante à adotada por FOELKEL et alii, 1975.

3. 2. 2 - Qualidade da madeira e da celulose dos lenhos inicial e tardio

O material utilizado neste estudo era proveniente de *Pinus elliottii* de Capão Bonito - S.P., com 14 anos de idade. Foram obtidos discos de aproximadamente 10 árvores e uma das faces destes discos foi polida para identificação dos lenhos. A seguir, separam-se manualmente os lenhos, com o auxílio de lâmina cortante, produzindo-se os cavacos necessários ao experimento. Foram também obtidos cavacos de madeira integral para comparações. Nestes cavacos foram realizadas determinações químicas, físicas e anatômicas. As análises realizadas na madeira foram: solubilidades em água quente e álcool benzeno; teores de lignina, pentosanas, celulose Cross & Bevan e holocelulose; densidade básica; comprimento, largura, diâmetro do lúmen, espessura da parede e área transversal da parede das fibras; teores de lenhos inicial e tardio na madeira integral. Os três tipos de madeira em estudo, ou seja, lenhos inicial e tardio e madeira integral, foram transformados em celulose pelo processo kraft. Foram realizados dois cozimentos por tipo de madeira, num total de 6 cozimentos. As condições adotadas nos cozimentos foram as seguintes: álcali ativo = 15 e 17%, como Na20; sulfidez = 30%; relação licor/madeira = 4:1; temperatura máxima = 170ºC; tempo até temperatura máxima = 2 horas; tempo à temperatura máxima = 1,5 horas.

As celuloses obtidas eram lavadas, depuradas e determinavam-se rendimentos, teores de rejeitos, número de permanganato; resistência físico-mecânicas e resistências das fibras individuais. A resistência de uma única fibra foi expressa como carga de ruptura em gramas-força e como pressão específica de ruptura, em mgf/u2.

3.2.3 - Produção de celulose kraft de madeiras de *Pinus elliottii* de diversas procedências.

Para a avaliação da qualidade de madeira e da celulose de *Pinus elliottii* de diversas procedências e idades, estudaram-se os materiais de Capão Bonito - S.P.; Lages - S.C., Savannah, Georgia, U.S.A. Como comparação foi usado o material de *Araucaria angustifolia*, procedente de Lages - S.C. Todas as madeiras foram analisadas quanto à suas propriedades físicas e anatômicas. O processo de cozimento para produção de celulose foi o kraft. As condições de deslignificação foram variáveis conforme o tipo de material e o grau de cozimento desejado. Estas condições constam no quadro 32 do item 4. Nas celuloses correspondentes determinaram-se rendimentos, teores de rejeitos, números de permanganato e foram avaliadas suas resistências mecânicas e propriedades físicas.

4 - RESULTADOS

4.1. - Variabilidade da madeira no sentido axial

Os resultados médios obtidos para características das fibras e da madeira estão apresentados quadros 1 a 23.

QUADRO 1: Comprimento médio das fibras de lenho inicial (mm)

4.2 - Madeiras dos lenhos inicial e tardio na produção de celulose Kraft

4.2.1 - Dimensões médias das fibras dos lenhos inicial e tardio

Conforme ressaltado anteriormente, os dois tipos de lenho foram separados de madeira proveniente de Capão Bonito - S.P., de árvores com 14 anos de idade.

As dimensões médias obtidas para as fibras constam do quadro 24.

4.2.2 - Densidade básica das madeiras e proporção dos lenhos

Os resultados estão apresentados no quadro 25.

4.2.3 - Composição química das madeiras

Da análise química das madeiras conforme os métodos da Technical Association of the Pulp and Paper Industry e Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, chegaram-se às seguintes composições:

4.2.4 - Qualidade das celuloses kraft

Os resultados e condições adotadas nos cozimentos estão apresentados no quadro 27.

As celuloses obtidas foram ensaiadas para avaliação de suas propriedades físico-mecânicas. O moinho utilizado foi o Jokro, com 5% de consistência, para o refino das mesmas.

QUADRO 1: Comprimento médio das fibras de lenho inicial (mm)

Casca ↑ Medula	Altura / Anel	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
	1	2,80	3,39	3,88	3,56	3,53	3,17
	4	3,15	3,86	3,25	2,84	3,04	1,99
	7	2,62	3,05	3,01	2,02	-	-
	9	2,14	2,45	2,12	-	-	-

QUADRO 2: Comprimento médio das fibras do lenho tardio (mm)

Casca ↑ Medula	Altura / Anel	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
	1	2,75	3,72	3,90	3,72	3,55	3,36
	4	2,89	3,40	3,34	2,91	3,11	2,43
	7	2,65	3,39	3,14	2,07	-	-
	9	2,52	2,45	2,15	-	-	-

QUADRO 3: Largura média das fibras do lenho inicial (u)

Casca ↑ Medula	Altura / Anel	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
	1	47,9	55,5	54,7	57,4	57,3	50,5
	4	44,2	50,6	51,3	58,2	47,5	41,7
	7	43,8	51,5	48,9	46,8	-	-
	9	41,0	43,8	43,8	-	-	-

QUADRO 4: Largura média das fibras do lenho tardio (u)

Casca ↑ Medula	Altura / Anel	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
	1	34,0	34,5	34,9	37,0	34,2	39,1
	4	33,2	33,6	32,8	37,6	34,4	37,4
	7	31,8	35,6	31,6	37,8	-	-
	9	32,8	33,8	33,0	-	-	-

QUADRO 5: Diâmetro médio do lúmen das fibras do lenho inicial (μ)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	40,3	46,3	48,6	48,9	48,4	42,6
4	35,6	43,4	42,9	50,6	39,7	34,7
7	35,7	44,9	41,2	39,4	-	-
9	32,5	37,0	36,2	-	-	-

QUADRO 6: Diâmetro médio do lúmen das fibras do lenho tardio (μ)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	16,8	16,0	16,7	17,3	16,2	18,4
4	18,4	17,0	15,4	21,8	16,4	21,1
7	16,6	17,9	16,3	19,8	-	-
9	21,2	19,7	22,3	-	-	-

QUADRO 7: Espessura média da parede das fibras do lenho inicial (μ)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	3,8	4,6	4,1	4,2	4,4	4,3
4	4,3	3,6	4,2	3,8	3,9	2,5
7	4,0	3,3	3,9	3,8	-	-
9	4,3	3,4	3,8	-	-	-

QUADRO 8: Espessura média da parede das fibras do lenho tardio(μ)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	8,6	9,2	9,1	9,9	8,0	9,6
4	7,4	8,3	8,7	8,0	9,0	5,7
7	7,6	8,8	7,6	6,5	-	-
9	5,80	7,0	5,4	-	-	-

QUADRO 9: Índice de Runkel médio para as fibras do lenho inicial

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	0,189	0,198	0,175	0,172	0,183	0,187
4	0,240	0,166	0,195	0,152	0,198	0,200
7	0,227	0,147	0,188	0,193	-	-
9	0,264	0,181	0,211	-	-	-

QUADRO 10: Índice de Runkel médio para as fibras do lenho tardio

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	1,071	1,156	1,092	1,141	1,107	0,965
4	0,806	0,972	1,135	0,731	1,195	0,538
7	0,915	0,987	0,937	0,653	-	-
9	0,547	0,716	0,483	-	-	-

QUADRO 11: Fração parede média das fibras do lenho inicial (%)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	15,9	16,5	14,9	14,7	15,5	15,6
4	19,3	14,2	16,3	13,2	16,5	16,7
7	18,5	12,8	15,8	16,2	-	-
9	20,9	15,3	17,4	-	-	-

QUADRO 12: Fração parede média das fibras do lenho tardio (%)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	50,6	53,6	52,7	53,9	52,5	49,1
4	44,7	49,3	53,2	42,2	52,3	35,0
7	47,8	49,7	48,4	39,5	-	-
9	35,4	41,7	32,6	-	-	-

QUADRO 13: Índice de enfeltramento médio das fibras do lenho inicial

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	58,5	61,1	70,9	67,1	61,6	62,8
4	71,3	76,2	63,3	48,8	64,0	47,7
7	59,8	59,2	61,5	43,0	-	-
9	52,1	56,0	48,4	-	-	-

QUADRO 14: Índice de enfeltramento médio das fibras do lenho tardio

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	81,0	107,8	111,8	100,5	103,7	85,9
4	87,1	101,1	88,7	77,3	90,5	74,9
7	84,6	95,4	99,4	63,1		
9	76,8	72,5	85,1	-	-	-

QUADRO 15: Coeficiente de flexibilidade médio das fibras do lenho inicial (%)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	84,2	83,5	85,1	85,3	84,5	84,3
4	80,7	85,8	83,7	86,8	83,5	83,3
7	81,5	87,2	84,2	83,8	-	-
9	79,1	84,7	82,6	-	-	-

QUADRO 16: Coeficiente de flexibilidade médio das fibras do lenho tardio(%)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	49,5	46,4	47,8	46,7	47,5	50,9
4	55,4	50,7	46,9	57,8	47,7	65,0
7	52,2	53,4	51,5	60,5	-	-
9	64,6	58,3	67,4	-	-	-

QUADRO 17: Densidade básica média do anel de crescimento (g/cm³)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	0,554	0,5[illegible]	0,538	0,471	0,458	0,446
4	0,513	0,523	0,488	0,406	0,401	0,330
7	0,446	0,483	0,443	0,296	-	-
9	0,344	0,382	0,3[illegible]	-	-	-

QUADRO 18: Densidade básica média do lenho inicial (g/cm³)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	0,308	0,343	0,322	0,255	0,290	0,296
4	0,397	0,335	0,369	0,275	0,307	-
7	0,323	0,315	0,292	0,266	-	-
9	0,299	0,280	0,291	-	-	-

QUADRO 19: Densidade básica média do lenho tardio (g/cm³)

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	0,572	0,645	0,648	0,652	0,657	0,649
4	0,532	0,591	0,594	0,608	0,584	-
7	0,531	0,574	0,600	0,475	-	-
9	0,501	0,487	0,390	-	-	-

QUADRO 20: Volume porcentual médio do lenho inicial no anel de crescimento

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	6,8	33,1	33,7	45,6	54,2	57,5
4	14,1	26,6	47,1	60,7	65,1	-
7	40,9	35,1	51,0	85,6	-	-
9	77,7	50,7	71,7	-	-	-

QUADRO 21: Volume porcentual médio do lenho tardio no anel de crescimento

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	93,2	66,9	66,3	54,4	45,8	42,5
4	85,9	73,4	52,9	38,3	33,9	-
7	59,1	64,8	49,0	24,4	-	-
9	22,3	49,3	28,3	-	-	-

QUADRO 22: Peso porcentual médio do lenho inicial no anel de crescimento

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2		6	Topo 8
1	3,8	20,8	20,2	28,7	34,3	38,2
4	10,9	17,0	35,6	41,1	50,6	-
7	29,6	22,9	33,6	76,9	-	-
9	67,5	37,2	65,4	-	-	-

QUADRO 23: Peso porcentual médio do lenho tardio no anel de crescimento

Anel \ Altura	Base 0,30	1,30	2	4	6	Topo 8
1	96,2	79,2	79,8	75,3	65,7	61,8
4	89,1	83,0	84,4	58,9	49,4	-
7	70,4	77,1	66,4	23,1	-	-
9	32,5	62,8	34,6	-	-	-

QUADRO 24: Dimensões médias das fibras dos lenhos inicial e tardio

Dimensão \ Lenho	Inicial	Tardio
Comprimento, mm	3,38	3,59
Largura, μ	43,5	38,0
Diâmetro do lumen, μ	29,8	17,1
Espessura da parede, μ	6,8	9,5

Os resultados das propriedades físico-mecânicas e óticas das celuloses, interpoladas para 20 e 40° SR estão relatados nos quadros 28 e 29.

QUADRO 25: Densidade básica e proporção dos lenhos da madeira

Propriedade \ Lenho	Inicial	Tardio	Integral
Densidade, g/cm³	0,350	0,578	0,441
Volume, %	60,1	39,9	100,0
Peso, %	47,7	52,3	100,0

QUADRO 26: Composição química das madeiras (%)

Análise \ Lenho	Inicial	Tardio	Integral
Solubilidade:			
- Água quente	2,6	1,8	2,4
- Álcool/benzeno	3,0	3,6	3,4
Teor de:			
- Holocelulose	72,0	73,8	74,7
- Lignina	25,8	25,8	25,1
- Pentosanas	13,6	12,8	13,2
- Celulose Cross & Bevan	56,4	61,2	60,0

QUADRO 27: Resultados dos cozimentos

Lenho	Inicial		Tardio		Integral	
Cozimento	1	2	1	2	1	2
Álcali ativo, como Na_2O	15	17	15	17	15	17
Sulfidez, %	30	30	30	30	30	30
Temperatura máxima, ºC	170	170	170	170	170	170
Tempo à temp.máx., horas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tempo total, horas	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Concentração inicial de Na_2O, g/l	37,5	42,5	37,5	42,5	37,5	42,5
Rendimento bruto, %	47,3	43,4	49,4	46,4	48,9	45,4
Rendimento depurado, %	45,9	43,0	46,3	45,9	47,2	42,9
Teor de rejeitos, %	1,4	0,4	3,1	0,5	1,7	2,5
Número de permanganato	31,9	21,1	30,4	21,8	33,9	22,5

4.2.5 - Resistência das fibras individuais

A determinação da resistência de uma única fibra mostrou os resultados médios apresentados no quadro 30.

4.3 - Qualidade das celuloses kraft e das madeiras de *Pinus elliottii* de diversas procedências em comparação com padrões.

4.3.1 - Dimensões das fibras e densidade básica das madeiras.

Os resultados encontrados para as dimensões das fibras e densidade básica de materiais de diferentes origens, bem como a indentificação da procedência do material constam do quadro 31.

4.3.2 - Propriedades das celuloses kraft

As celuloses foram obtidas pelo processo kraft conforme as condições relatadas no quadro 32. Neste quadro também estão apresentados os resultados dos cozimentos.

QUADRO 28: Propriedades físico-mecânicas e óticas das celuloses do cozimento 1 (número de permanganato = 32 ± 2)

Lenho	Inicial		Tardio		Integral	
°SR	20	40	20	40	20	40
Tempo de moagem, min.	80	75	52	64	64	81
Auto-ruptura, km	7,8	8,2	5,5	6,2	5,6	6,8
Fator de rasgo	147	125	243	188	162	131
Fator de arrebentamento	67,5	68,1	50,4	51,8	53,9	54,8
Dobras duplas	2129	2412	1146	1279	774	1095
Elongação, %	1,78	1,85	3,12	3,34	2,48	2,84
Peso específico aparente, g/cm^3	0,577	0,613	0,501	0,529	0,512	0,547
Alvura	21,1	20,9	21,1	21,6	19,1	19,0
Opacidade	87,3	86,8	87,4	86,6	90,2	89,8

QUADRO 29: Propriedades físico-mecânicas e óticas das celuloses do cozimento 2 (número de permanganato = 22 ± 1)

Lenho	Inicial		Tardio		Integral	
°SR	20	40	20	40	20	40
Tempo de moagem, min.	62	84	45	55	60	82
Auto-ruptura, km	6,4	7,8	5,3	5,7	5,6	7,0
Fator de rasgo	135	113	243	172	230	180
Fator de arrebentamento	63,2	68,1	46,7	46,0	54,7	58,1
Dobras duplas	2650	3840	770	1010	1804	3274
Elongação, %	4,21	4,05	3,21	3,20	3,75	3,75
Peso específico aparente, g/cm^3	0,607	0,630	0,505	0,555	0,555	0,571
Alvura	22,6	22,0	22,2	23,1	23,4	23,6
Opacidade	87,0	85,3	86,8	86,4	85,6	85,2

QUADRO 30: Resistência das fibras individuais

Lenho	Inicial		Tardio	
Cozimento	1	2	1	2
Carga de ruptura, gf	20,6	16,3	29,9	24,4
Pressão específica de ruptura, kgf/mm^2	25,1	20,7	37,7	30,7

QUADRO 31: Dimensões das fibras e densidade básica de materiais de diferentes origens.

Material	Comprimento da fibra (mm)	Largura da fibra (μ)	Espessura da parede (μ)	Densidade básica (g/cm^3)
Pinus elliottii				
Capão Bonito, 8 anos	3,10	45,71	5,87	0,375
Capão Bonito, 10 anos	3,12	46,80	6,10	0,431
Capão Bonito, 12 anos	3,42	47,95	6,90	0,464
La es, 8 anos	3,14	45,31	5,41	0,316
Georgia, USA 18 anos	3,46	48,70	6,87	0,482
Araucaria angustifolia, Lages, 20 anos	5,15	47,11	6,44	0,420

QUADRO 32: Condições e resultados dos cozimentos

Espécie / Material / Cozimento — Condições e resultados	*Pinus elliottii*																*Araucaria angustifolia*	
	C. Bonito 8 anos			C. Bonito 10 anos			C. Bonito 12 anos			C. Bonito 14 anos			Lages 8 anos		Georgia, USA 18 anos		Lages 20 anos	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2
Álcali ativo, como Na_2O	14	15	17	14	15	17	14	15	17	14	15	17	19	20	15	17	19	20
Sulfidez, %	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	25	25	30	30	25	25
Temperatura máxima, ºC	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	165	170	170	170	165	170
Tempo à temp. máx. horas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tempo total, horas	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,5
Concentração inicial de Na_2O, g/l	35,0	37,5	42,5	35,0	37,5	42,5	35,0	37,5	42,5	35,0	37,5	42,5	47,5	50,0	37,5	42,5	47,5	50,0
Rendimento bruto, %	48,7	42,9	42,9	48,9	42,4	42,0	46,4	43,7	44,2	43,7	43,1	41,6	49,9	44,6	44,4	43,0	52,6	51,1
Rendimento depurado, %	46,4	42,8	42,8	42,8	42,0	41,7	44,8	43,1	42,1	41,7	43,0	41,4	45,2	44,3	44,1	42,9	52,1	50,8
Teor de rejeitos, %	1,4	0,1	0,1	6,1	0,4	0,3	1,6	0,1	0,1	2,0	0,1	0,2	0,7	0,3	0,3	0,1	0,5	0,3
Nº de permanganato	29,2	19,3	15,3	32,4	24,1	16,1	31,1	17,5	14,7	31,1	24,5	16,0	27,6	16,9	27,6	20,7	28,0	16,8

QUADRO 33: Propriedades físico-mecânicas das celuloses a 20º SR.

Espécie / Material / Cozimento — Propriedades	*Pinus elliottii*																*Araucaria angustifolia*	
	C. Bonito 8 anos			C. Bonito 10 anos			C. Bonito 12 anos			C. Bonito 14 anos			Lages 8 anos		Geórgia, USA 18 anos		Lages 20 anos	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2
Tempo de moagem, min.	55	62	44	65	72	50	58	72	54	76	57	61	40	39	42	45	40	36
Auto-ruptura, km	6,7	6,1	6,3	6,8	6,2	6,4	7,0	6,5	5,4	7,4	6,5	6,0	7,6	7,2	6,0	5,9	7,1	6,4
Fator de rasgo	175	160	159	191	190	180	198	198	148	201	192	165	115	120	220	210	194	164
Fator de arrebentamento	69,7	55,4	50,3	65,2	54,2	49,5	63,1	56,5	40,5	59,7	48,4	48,3	58,3	50,4	59,8	51,2	51,3	42,5
Elongação, %	3,3	3,8	3,8	2,6	3,2	3,4	2,4	2,9	3,0	2,9	1,8	3,1	3,1	2,8	2,8	2,8	1,2	1,2
Peso especificação aparente, g/cm³	0,610	0,640	0,623	0,595	0,605	0,611	0,600	0,615	0,590	0,612	0,575	0,609	0,678	0,694	0,551	0,540	0,652	0,644

QUADRO 34: Propriedades médias das celuloses de *Pinus elliottii* de diferentes procedências.

Espécie / Material — Propriedades médias	*Pinus elliottii*						*Araucaria angustifolia*
	C. Bonito 8 anos	C. Bonito 10 anos	C. Bonito 12 anos	C. Bonito 14 anos	Lages 8 anos	Georgia, USA 18 anos	Lages 20 anos
Nº de permanganato	21,3	24,2	21,3	23,9	22,2	24,1	22,4
Rendimento bruto, %	44,8	44,4	44,1	42,8	47,2	43,7	51,9
Rendimento depurado, %	44,0	42,2	43,5	42,0	46,8	43,5	51,4
Teor de rejeitos, %	0,8	2,2	0,6	0,8	0,4	0,2	0,4
Propriedades físico-mecânicas a 20º SR:							
- Tempo de moagem, min.	54	62	61	65	39	44	38
- Auto-ruptura, km	6,4	6,5	6,3	6,6	7,4	6,0	6,8
- Fator de rasgo	165	187	181	186	118	215	174
- Fator de arrebentamento	58,5	56,3	53,4	52,1	54,4	55,5	46,9
- Elongação, %	3,6	3,1	2,8	2,6	3,0	2,8	1,2
- Peso específico aparente, g/cm³	0,624	0,603	0,602	0,597	0,686	0,546	0,648

As celuloses foram refinadas em moinho Jokro, a 5% de consistência para desenvolvimento das suas resistências.

No quadro 33 estão apresentados os valores das propriedades físico-mecânicas, interpolados para 20º SR.

A seguir foram tomadas as médias das propriedades das celuloses dos cozimentos para cada tipo de material. Os resultados estão apresentados no quadro 34.

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Variabilidade da madeira

O esquema para a análise da variabilidade da madeira de *Pinus elliottii* permitiu verificar como ocorriam as alterações em cada propriedade da madeira tanto no sentido medula/casca, a cada nível de altura, como no sentido longitudinal, dentro de cada anel ou lenho escolhido para estudo.

No sentido radial foram confirmados muitos dos modelos de variação encontrados por FOELKEL et alii, 1975, em *Pinus elliottii* de Capão Bonito - S.P.

Por outro lado, no sentido axial ou longitudinal, os resultados mostraram modelos de variação bem evidentes, muitos dos quais confirmando os dados encontrados na literatura mundial.

Dentro de um mesmo lenho, observou-se que as seguintes propriedades aumentavam da base para uma altura próxima ou ligeiramente acima do DAP, para depois decrescerem com o aumento da altura:

- comprimento das fibras dos lenhos inicial e tardio,
- índice de Runkel das fibras do lenho tardio,
- fração parede das fibras do lenho tardio,
- índice de enfeltramento das fibras dos lenhos inicial e tardio,
- densidade básica do anel de crescimento.

Um rápido acréscimo até a altura do DAP para depois seguir-se uma estabilização nos valores foi notado para:

- largura das fibras do lenho inicial,
- diâmetro do lúmen das fibras do lenho inicial,
- densidade básica do lenho tardio.

A espessura da parede das fibras do lenho tardio mostrou um aumento gradativo, para cair bruscamente na última altura correspondente ao anel. A espessura das fibras do lenho inicial tardio irregularmente, sendo difícil definir um modelo de variação, parecendo mais que ocorreu um decréscimo da mesma com o aumento da altura.

Decresceram com a altura:

- índice de Runkel das fibras do lenho inicial,
- fração parede das fibras do lenho inicial,
- densidade básica do lenho inicial,
- volume e peso percentual de lenho tardio no anel de crescimento.

O coeficiente de flexibilidade tanto para os lenhos inicial e tardio não mostrou um modelo de variação definido.

Um acréscimo gradual com a altura foi notado para volume e peso porcentuais de lenho inicial e no anel de crescimento, enquanto que para o lenho tardio, estas propriedades decresceram, conforme já citado.

Não foram notadas alterações com a altura para:

- largura das fibras do lenho tardio,
- diâmetro do lúmen das fibras do lenho tardio.

5.2 - Madeiras dos lenhos inicial e tardio na produção de celulose kraft

Os resultados obtidos neste experimento confirmaram o que era de se esperar com base nas informações encontradas na literatura.

Relativamente às características das madeiras, aquela de lenho inicial mostrou menores comprimento e espessura da parede das fibras e menor densidade básica e maiores largura e diâmetro do lúmen das fibras.

A quantidade de lenho tardio na madeira integral esteve próxima ao ideal recomendado pelos autores deste trabalho, para produção de celulose, ou seja, 60% a 65%.

A composição química percentual de ambos os materiais mostrou que o lenho tardio possui um maior teor de celulose, mas para o caso em questão, o seu teor de lignina foi praticamente o mesmo que o do lenho inicial.

Relativamente à qualidade das celuloses as diferenças foram marcantes: a celulose obtida de madeira do lenho tardio mostrou maiores rendimentos e maior teor de rejeitos, para graus de deslignificação semelhantes.

Embora as fibras do lenho tardio possuam paredes mais espessas, e sejam mais rígidas, elas se refinam mais rapidamente que as fibras do lenho inicial. As resistências à tração, ao arrebentamento e ao dobramento foram inferiores para a celulose do lenho tardio, porém a resistência ao rasgo e a elongação foram sensivelmente superiores.

As folhas da celulose de lenho tardio eram menos densas, mais volumosas, que as de lenho inicial. Contrariamente ao esperado, não se notou uma diferença na opacidade das celuloses de lenhos inicial e tardio, quando se sabe se, normalmente, celuloses de fibras de paredes espessas possuem maior opacidade, a um mesmo grau de moagem.

A razão da significativamente maior resistência ao rasgo das celuloses de lenho tardio pode ser explicada pela maior resistência de suas fibras individuais. Isso se deve à dependência que o rasgo apresenta com relação à resistência individual da fibra. Por outro lado, as resistências à tração, arrebentamento e dobramento se relacionam mais à ligação entre fibras que à resistência das fibras individuais, e esta ligação é maior para as fibras de paredes delgadas do lenho inicial.

As razões pelas quais as fibras de lenho tardio sejam mais resistentes que as de lenho inicial, mesmo em termos de pressão específica de ruptura, em mgf/u2, devem ser de ordem morfológica: a parede S2, com fibrilas melhores orientadas, das fibras de lenho tardio é masi espessa, e também, o número de pontuações é bem menor nas fibras de lenho tardio.

Quando se produziu celulose da madeira, integral, contendo tanto o lenho inicial como o tardio, obtiveram-se para rendimento e números de permanganato, resultados comparáveis. A razão deveria ser o teor de lignina similar de ambas as madeiras. Aparentemente, as diferenças morfológicas maiores na madeira integral, conduziu a problemas de penetração do licor, já que os teores de rejeitos foram maiores para a madeira integral.

Também contrariando o que se poderia esperar, as resistências das celuloses de madeira integral, nem sempre foram intermediárias às obtidas para as celuloses dos lenhos isolados. Este fenômeno pode ser explicado pela diferença significativa no tempo de moagem das celuloses dos lenhos isolados. Assim, conduzir-se a celulose da madeira integral a um determinado grau de moagem não significa que todas as fibras estejam a este grau pré-estabelecido. O conjunto de fibras estará, por exemplo a 40º SR, entretanto as fibras de lenho inicial estarão a um valor menor e as de lenho tardio e um maior. Como a capacidade de desenvolver resistências em função da moagem é diferente para ambas, os valores encontrados para a celulose de madeira integral nem sempre são in-

termediários aos obtidos para as celuloses dos lenhos isolados.

5.3 - Qualidade das celuloses kraft e das madeiras de *Pinus elliotti* de diversas procedências

Observando-se os valores apresentados no quadro 31, verificou-se que a qualidade das madeiras dos *Pinus elliottii* de Capão Bonito - S.P. foi semelhante àquela da mesma espécie, proveniente dos Estados Unidos da América. Os valores obtidos para a amostra de 14 anos de Capão Bonito foram quase idênticos aos da madeira norte-americana. O material de Lages - S.C. apresentou as menores densidades básica, comprimento e espessura da parede das fibras. A madeira de *Araucaria angustifolia* apresentou apenas uma característica destacante, em relação ao *Pinus elliottii* de Capão Bonito e dos Estados Unidos, que foi o comprimento de suas fibras.

Na análise dos quadros 32 e 33 foi possível se obter uma série de informações relativas à influência de algumas variáveis na qualidade da celulose:

a) influência do grau de cozimento,

b) influência da idade das árvores,

c) influência da procedência do material,

d) estudo comparativo das celuloses do *Pinus elliotti* desenvolvido no Brasil, contra a do norte-americano e contra a de *Araucaria angustifolia*, todas testadas no mesmo laboratório, em condições semelhantes.

5.3.1 - Influência do grau de cozimento

Para todos os materiais foram adotadas diferentes condições de cozimento, visando-se produzir celuloses com números de permanganato entre 15 e 35. Analisando-se os resultados para cada material, notou-se uma constância na variação das propriedades das celuloses em função da variação do número de permanganato. Verificou-se que, com o aumento do número de permanganato, dentro da faixa estudada, aumentavam os rendimentos brutos e depurados, os teores de rejeitos, as resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, e a elongação decrescia.

5.3.2 - Influência da idade das árvores

Para o material de Capão Bonito - S.P., onde foram amostrados povoamentos com 4 idades diferentes, tornou-se possível analisar o efeito da idade das árvores na qualidade da madeira e da celulose. Com o aumento da idade, aumentaram concomitantemente: comprimento, largura e espessura da parede das fibras e densidade básica da madeira; resistência ao rasgo da celulose. Por outro lado, decresceram: resistência ao arrebentamento, elongação e peso específico aparente.

5.3.3 - Influência da procedência do material

Infelizmente constaram deste estudo apenas duas procedências de material do Brasil. O material de Lages - S.C. forneceu uma celulose com rendimento mais elevado que a de Capão Bonito, porém o consumo de madeira por tonelada de celulose ainda assim seria maior para a madeira de Lages,devido sua densidade mais baixa.

Geralmente, associadas a baixa densidade tem-se fibras de paredes delgadas, facilmente colapsadas durante a moagem, conduzindo a maiores resistências à tração e ao estouro.

No caso das duas procedências em estudo, o material de Lages produziu celulose mais rapidamente refinável, de maior resistência à tração, de folhas mais densas, mas de resistência ao rasgo baixa para o que se era de esperar pelo comprimento de suas fibras.

5.3.4 - Estudo comparativo das celuloses de *Pinus elliottii* desenvolvido no Brasil e nos Estados Unidos da América e a de *Araucaria angustifolia*.

O material de Capão Bonito mostrou relativa similaridade ao dos Estados Unidos da América, para produzir celulose kraft. O material norte-americano era mais velho que o nacional, logo descontando-se o efeito desta maior idade, pode-se concluir que as celuloses de ambos eram equivalentes. Pode-se admitir que, com o envelhecimento do povoamento até 18 anos, o material de Capão Bonito deverá atingir ao valor de resistência ao rasgo alcançado para aquele dos Estados Unidos. Paralelamente as suas resistências à tração e ao arrebentamento deverão se manter ou cair ligeiramente, bem como o peso específico aparente de suas folhas.

Uma característica importante observada para todos os materiais de *Pinus elliottii* foram os baixos rendimentos em celulose, em comparação com o obtido para *Araucaria angustifolia*. Isto conduzirá a um maior consumo de madeira por tonelada de celulose, reduzindo-se desta forma, a carga unitária de um digestor, com reflexos numa possível diminuição da capacidade nominal de indústrias que possuem sistema de disgestão descontínuo. A solução seria a diminuição do ciclo de cozimento, aumentando-se o número de descargas por digestor por dia.

A celulose de *Araucaria angustifolia* mostrou qualidade similar à do *Pinus elliottii* de Capão Bonito e inferior à do *Pinus elliottii* norte-americano, quanto à resistência. Comparativamente ao *Pinus elliottii* de Lages, a celulose de *Araucaria angustifolia* apresentou maior resistência ao rasgo, mas resistência à tração e ao arrebentamento inferiores.

6 CONCLUSÕES

Como principal conclusão deste trabalho, pode-se afirmar que existem amplas possibilidades no Brasil, para o aproveitamento do *Pinus elliottii* para produção de celulose kraft, principalmente levando-se em consideração que, como vantagem adicional, a espécie possibilita a instalação de unidades de recuperação de "tall-oil", sub produto valioso, de cujos derivados, breu e terebintina, o Brasil é carente.

Entretanto, frente à variabilidade da madeira, é necessário bem conhecê-la para melhor utilizá-la.

Um detalhe importante que precisa ser considerado é o fato de que, no estudo da variabilidade da madeira em função da altura, em geral, próximo ao DAP, a maioria das propriedades atinge seu máximo. Desta forma, quando se amostra ao nível do DAP para se estudar qualidade da madeira, está-se trabalhando com uma das melhores madeiras da árvore. Isso deve ser levado em conta para evitar conclusões errôneas. É bem sabido e provado que as características ao nível do DAP são correlacionadas com as características médias da árvore, por isso, por facilidade de obtenção, coletam-se usualmente as amostras neste nível. Para estudos de tecnologia de celulose os autores deste trabalho recomendam trabalhar com os valores médios das árvores, já que estes valores deverão ser extrapolados para cálculos econômicos importantes, não devendo portanto serem super ou subestimado.

Tem sido constantemente verificado que a qualidade das celuloses kraft de *Pinus sp* é bastante dependente da qualidade da madeira. Logo, um manejo adequado das florestas, visando otimizar a qualidade da madeira, conduzirá paralelamente ao melhoramento da qualidade da celulose. É parecer destes autores que o teor de lenho tardio é a característica que comanda a qualidade da celulose de *Pinus elliottii*.

A relação lenho inicial/lenho tardio é particularmente modificada

pelo melhoramento florestal, mas é também modificada por práticas silviculturais, tais como espaçamentos, desbastes, desrama, fertilização mineral, etc. Outros agentes ambientais como insolação e precipitação colaboram para aumentar o teor de lenho inicial. Em resumo, todos os fatores ambientais capazes de acelerar o desenvolvimento volumétrico tendem a aumentar o teor de lenho inicial, a não ser que bem dosados. Porém, o melhoramento florestal conduzindo a maior densidade básica da madeira compensaria a perda de densidade pelo acréscimo volumétrico e poder-se-ia caminhar no sentido de se produzir maior volume de madeira mais densa, ou seja, maior peso seco de madeira por hectare. A relação ideal entre os lenhos inicial e tardio poderia ser pré-estabelecida experimentalmente e procurar-se-ia obtê-la na prática. Isso é possível uma vez que esta relação é dependente da idade. Outra forma de se trabalhar seria pré-fixar a densidade básica média e ideal do povoamento. Desde que se alterasse o ritmo de crescimento ter-se-ia que alterar a relação lenho inicial/lenho tardio ou a densidade dos lenhos para se obter a densidade desejada. Isso poderia ser conseguido geneticamente ou pelo controle do ambiente. Outra maneira seria antecipando ou retardando o corte.

Concluindo, parece-nos que as melhores formas de obter, a curto prazo, celulose kraft com altas resistências à tração, rasgo e arrebentamento para os *Pinus* do sul do Brasil seriam.

a) Retardar o corte até se ter aproximadamente 60-65% em peso de madeira de lenho tardio. Os povoamentos seriam instalados com espaçamentos abertos (3 x 2 m), seria realizado um desbaste quando se estabelecesse a competição, logo após o período juvenil, e se retardaria o corte até os 15 a 18 anos, quando provavelmente se teriam os 60-65% de lenho tardio. A vantagem deste manejo seria uma melhor utilização dos produtos do desbaste. Provavelmente seria também necessário um desbaste adicional aos 12-14 anos.

b) Encurtar o ciclo plantando-se em espaçamentos mais apertados, donde se formaria madeira com anéis de crescimentos mais entreitos, com maior proporção de lenho tardio. Por outro lado, poder-se-ia em rendimento volumétrico. Uma alternativa seria se realizar um desbaste cedo, quando o período juvenil estivesse terminado. Esta operação aceleraria o crescimento do povoamento, que passaria a formar maior quantidade de madeira adulta, com maior teor de lenho tardio. O inconveniente seria a baixa qualidade comercial do produto do desbaste.

Frente às diferenças encontradas na qualidade da madeira e da celulose kraft de *Pinus elliottii* de diferentes procedências, pode-se concluir que as influências ecológicas precisam ser observadas pela indústria de celulose. Por exemplo, o desenvolvimento volumétrico da espécie *Pinus elliottii* em Lages S.C. é superior aquele observado em Capão Bonito - S.P., porém em termos de qualidade de madeira para celulose, a região ecológica correspondente ao sul do estado de São Paulo parece ser mais recomendável, pelo menos baseando-se nos materiais estudados. A associação destes dois parâmetros, produtividade e qualidade, pode estretanto ser alcançada em ambas as regiões, como em outras regiões aqui não estudadas.

7 BIBLIOGRAFIA

1. BRASIL M.A.M. - 1972 - **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento.** Piracicaba, ESALQ, USP. Tese de mestrado, 75 p.

2. CHIDESTER, G.H. & Mc GOVERN, J.N. 1938 - **Paper Trade Journal 107:** 149

3. CROSS, C.F. & BEVANS, E.J. - 1920 - **A textbook of papermaking.** E & F.M. Spon Lt, Londres, 5ª edição.

4. FOELKEL, C.E.B. - 1973 - **Undeleached kraft pulp of some of the Brazilian and U.S. pines.** Tese de mestrado, SUNY, Syracuse, EEUU, 192 p.

5. FOELKEL, C.E.B.; FERREIRA, M; NEHRING, J,H,& ROLIM, M.B. - 1975 - Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii.* **IPEF 10:** 1 - 11

6. FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO; L.E.G.; GARCIA, W. & BRITO, J.O. - 1976 - Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii* **IPEF 12:** 127 - 142

7. GLADSTONE, W.T.; BAREFOOT JR, A.C. & ZOBEL, B.J. - 1970 Kraft pulping of earlywood and latewood from loblolly pine. **Forest Products Journal 20** (20): 17 - 24

8. HOLZER, W.F. & LEWIS, H.F. - 1950 - The caracteristics of unbleached kraft pulps from western hemlock, Douglas-firn, western red cedar, loblolly pine, and black spruce. **Tappi 33** (2): 110-112

9. KOERICH J: AGUIAR, C.A.L. & KIPMAN, A.S. - 1972 - Obtenção experimental, em escala industrial, de papel e cartão kraft a partir de *Pinus elliottii.* Convenção Anual da ABCP - Trapalhos Técnicos: 185 - 189

10. LARSON, P.R. - 1966 - Chages in chemical composition of wood cell walls associateded with age in *Pinus resinosa.* **Forest Products Journal 16** (4): 37 - 45

11. MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. & KAJIYA, S. - 1974 - **Densidade básica e caracteristicas anatômicas da madeira do pinheiro do Paraná** - *Araucária angustifolia* **(Bert) O. Kuntze de povoamento artificial da região de Capão Bonito Estado de São Paulo.** Publicação nº 1016, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 76 p.

12. NILSSON, T.H. - 1926 - **Paper Mill 49** (4): 6

13. PAUL, B.H. - 1932 - Some properties of slash pine. **Paper Trade Journal 32** (1): 9 - 10

14. REDKO, B.V.P. & GUIMARÃES, J.P.M. - 1970 - Da utilização do *Pinus elliottii* aclimatado como fonte de celulose para papel. **O Papel 3** (2): 31 - 36.

15. SANIO, K. - 1872 - Uber die Grosse Holzzellen bei der gemeinen Kiefer *(Pinus silvestris).* **Jahrb wiss Botan. 8:** 401 - 420

16. VAN DER SLOOTEN, H.J.; FISEICK, R.W.; RICHETER, H,G, FERREIRA, M. & MONTAGNA, R.G. - 1976 - **Levantamento da densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em plantio no sul do Brasil** PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, Série Técnica nº 5,47 p.

17. WANGAARD, F.F. - 1958 - **Norsk Skogindustri 12:** 286

18. WATSON, A.J. & DADSWELL, H.E. - 1967 - Influence of fibre morphology on paper properties. Par II. Earlywood and Latewood. **Appita 15** (6): 116 - 127

19. WATSON, A.J. & HODDER, I.G. - 1954 - Relationship between fibre estructure and handesheet properties in *Pinus taeda.* **Appita 8:** 290 - 310

20. WHEELER, E.Y.; ZOBEL, B.J. & WEEKS, D.L. - 1966 - Tracheid length and diameter variation in the bole of loblolly pine **Tappi 49** (11) (11): 484 - 490

21. ZEEUW, C. de & PANSHIN, A.J. - 1970 - **Textbook of wood techonoly. Vol. 1.** Mc Graw Hill Book Co, 705 p.

22. ZVINAKEVICIUS, C. - 1966 - Resultados preliminares de celulose e papel feito com *Pinus alienigenas do Brasil. ABP - Trabalhos Técnicos, 10 p.*