

Influência de desbaste na qualidade da madeira de Pinus taeda L.  
para produção de celulose kraft

MFN -0661

N CHAMADA:

TITULO: Influência de desbaste na qualidade da madeira de  
Pinus taeda L. para produção de celulose kraft

AUTOR(ES): MUNER, T.S.BARRICHELO, L.E.G.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO:

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 16

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 21-26.11.1983

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1983, ABTCP

PAG/VOLUME: p.93-112, v.1

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 16, 1983, São Paulo, v.1,  
p.93-112

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR:

RESUMO:

*Muner, T.S.*

Johnson & Johnson S/A - Jaguariúna - SP - Brasil

*Barrichelo, L.E.G.*

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Piracicaba-SP - Brasil

#### RESUMO

O presente trabalho analisa os efeitos pós-desbastes sobre o incremento volumétrico e as repercussões do ritmo de crescimento na qualidade da madeira para produção de celulose. O material utilizado foi obtido de 80 árvores da espécie *Pinus taeda* L. com idade de 17 anos. Foram analisados os efeitos de 3 intensidades de desbaste sendo 25, 50 e 75% em confronto com talhão testemunha.

Observou-se incremento volumétrico proporcional aos desbastes sendo que a madeira produzida após a aceleração do ritmo de crescimento mostrou-se com maior teor de lenho inicial, maior largura dos anéis de crescimento e menor densidade básica.

Constatou-se tendência de redução do comprimento médio dos traqueídeos em função dos tratamentos assim como aumento na largura e diâmetro do lúmen.

Os teores de extrativos em álcool-benzeno e água quente apresentaram-se com tendência à elevação enquanto o teor de holocelulose, os rendimentos dos cozimentos, o nº kappa e a viscosidade da celulose sofreram reduções em função dos desbastes. A celulose produzida a partir de madeira de crescimento acelerado apresentou maior resistência à tração, maior peso específico, maior porosidade e menor resistência ao rasgo.

#### 1. INTRODUÇÃO

A prática de desbaste é bastante difundida, sendo seu objetivo otimizar a rentabilidade dos povoamentos florestais.

Os desbastes concentram a capacidade potencial de produção de madeira do povoamento sobre um número limitado de árvores selecionadas. Em consequência, consegue-se o incremento volumétrico dessas árvores remanescentes, além do aumento da produção total de madeira pela utilização de árvores dominadas, que não sobreviveriam à competição.

Todavia, surgem algumas questões quanto aos possíveis reflexos da aceleração metabólica sobre as características dos tecidos lenhosos formados pós-desbaste.

Este tema é de fundamental importância quando se analisa a qualidade da madeira para sua industrialização e, sobretudo, na produção de celulose.

Diversos autores têm explorado exaustivamente o assunto e a abordagem mais generalizada propõe que a taxa de crescimento pode controlar, em grande parte, a qualidade da madeira e consequentemente as propriedades físico-mecânicas da celulose.

Trabalho apresentado no III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel - em São Paulo - Brasil - de 21 a 26 de Novembro de 1983.

No entanto, outros autores afirmam ser o assunto ainda polêmico, justificando a necessidade de maiores estudos, tendo em vista os critérios que se adotam na conceituação da qualidade da madeira.

Como contribuição ao tema, o presente trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar a influência de diferentes intensidades de desbaste, na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L., considerando-se os aspectos anatômicos, físicos e químicos, assim como suas relações com as propriedades físico-mecânicas da celulose kraft produzida.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

KRAMER e KOZLOWSKY (1972) propõem que a alteração ambiental em povoamentos florestais submetidos a desbastes podem influenciar a quantidade e a qualidade dos elementos anatômicos formados.

A literatura especializada comprova que a quantidade de material produzido tende a aumentar face a aplicação de desbastes. Os efeitos da aceleração do ritmo de crescimento nas características da madeira, segundo KOCH (1972) exigem ainda maiores informações. Quanto ao aspecto fisiológico, o mesmo autor explica que nos períodos favoráveis ao crescimento, são produzidos estímulos hormonais responsáveis pela formação de células mais largas, com paredes mais delgadas, maior diâmetro do lúmen.

COWN (1974) determinou os efeitos de desbaste leve e moderado na taxa de crescimento e propriedades da madeira. Não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, porém as árvores provenientes dos povoamentos que sofreram desbastes em qualquer das intensidades, apresentaram seus traqueídeos reduzidos em comprimento de até 10%. Apesar de que esse autor não tenha apresentado valores relativos à largura dos traqueídeos, observa-se nas demais citações que este é o parâmetro mais fortemente afetado pelo ritmo de crescimento.

Trabalhos na literatura, citados por PANSHIN e DE ZEEW (1970), mostram que em algumas espécies de coníferas o teor de celulose no lenho tardio não é somente maior em termos de quantidade mas que apresenta-se com maior grau de polimerização, maior densidade e consequentemente maior cristalinidade do que no lenho inicial. Verifica-se que o lenho tardio é produzido de maneira mais gradativa e lenta, o que induz maior polimerização.

Segundo MEIER (1964) a composição química dos lenhos varia e está relacionada com o ritmo de crescimento. O autor constatou em seus estudos que o teor de arabionogalactanas é mais elevado para os traqueídeos de lenho inicial. WAKELEY (1969) observou maiores teores de holocelulose para madeiras provenientes de talhões sem desbastes.

Tanto os aspectos anatômicos como os químicos estão relacionados com a densidade da madeira, suas variações em função do ritmo de crescimento tem sido observadas por autores como COWN (1974), KROMHOUT (1968), PARKER *et alii* (1976), SYDE (1976), SAVINA e YAKIMOV (1976) que observaram reduções da densidade em indivíduos cujo ritmo de crescimento foi acelerado por desbastes.

A explicação mais comum para o fenômeno é o alargamento dos anéis de crescimento com alteração da proporção entre os lenhos e consequentemente nas proporções entre os traqueídeos de paredes espessas e de paredes delgadas. BARRICHELO (1979) apresentou como resultados de seus estudos correlações lineares, estatisticamente significativas entre densidade de básica e percentagem de lenho tardio, tanto em volume como em peso.

Todos os parâmetros relativos à características anatômicas

químicas do lenho tem especial interesse quando visa-se a produção de celulose.

Durante o processo de deslignificação da madeira ocorre uma interação físico-química entre matéria-prima e licor de cozimento ondeagem influenciando conjuntamente às variáveis do processo, aquelas referentes à madeira. Estão incluídas nesse contexto a densidade básica, regida pelas características anatômicas e químicas da madeira; a composição química, o tamanho dos cavacos, etc.

Um dos fatores que regem a penetração do licor de cozimento no interior dos cavacos, por exemplo, é a porcentagem de espaços vazios. Segundo FOELKEL (1977), a madeira do lenho inicial é mais facilmente penetrada que a de lenho tardio, pois possui maior lúmen e maior número de pontuações. O mais importante fator a regular a penetração em coníferas, de acordo com o mesmo autor, é o número e as dimensões das pontuações.

Os traqueídeos tendem a ficar mais largos e mais curtos quando provenientes de madeiras de crescimento acelerado, respectivamente segundo KROMHOUT (1968) e COWN (1974), o que os aproxima anatomicamente das células do lenho inicial e estariam mais aptos a favorecer a penetração de agentes de deslignificação. Para uma similaridade de comportamento, RYDHOLM (1965) define como mais flexíveis os traqueídeos do lenho inicial. Segundo o autor, esse tipo de traqueídeo, geralmente mais largo e com paredes mais delgadas estaria mais apto a produzir polpas mais resistentes à tração e ao arrebatamento. A justificativa é que essas células tendem a se colapsar e a promover maior área de contato entre fibras favorecendo as propriedades de ligação (FOEKEL e BARRICHELO, 1975; FOEKEL *et alii*, 1976; RYDHOLM, 1965).

Os traqueídeos provenientes de madeiras formadas em regime de forte competição por sua vez tenderiam a formar folhas mais volumosas pois seriam mais resistentes ao colapso. BARRICHELO e BRITO (1978) citam que os traqueídeos do lenho tardio mantêm a forma tubular formando folhas com maior volume, menor peso específico e menores resistências à tração e ao arrebatamento, quando são requisitadas forças de ligação; e maior resistência ao rasgo, em função da estrutura do corpo fibroso, fundamentada na maior espessura de parede (CASEY, 1960; BROWN *et alii*, 1952).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material

O material utilizado foi obtido de 80 árvores da espécie *Pinus taeda* L., com idade de 17 anos.

O plantio foi executado com espaçamento 2,50 x 2,30 metros em talhões com 12,8 hectares. Aos 8 anos foi escolhido um talhão onde efetuou-se um desbaste por baixo com remoção de 30% do número de indivíduos, passando de 1750 para 1220 árvores/hectare.

Em 1974 foi instalado o ensaio de desbaste e escolhidas 8 parcelas de 20 x 40 m, com 10 m de bordadura, distribuídas ao acaso dentro do talhão e que receberam a numeração de 1 a 8.

As duas primeiras parcelas foram escolhidas para testemunha. As parcelas de números 3 e 4 sofreram um desbaste de 25%, as de número 5 e 6 foram submetidas a 50% de desbaste e as duas últimas, por sua vez, receberam um tratamento em que o nível de desbaste atingiu 75%.

Em 1979, 5 anos após o tratamento, foram amostradas 10 árvores de cada parcela, totalizando 20 árvores por tratamento.

De cada árvore selecionada foram anotadas altura comercial e total e diâmetro à altura do peito (DAP).

A partir dessas árvores foram retirados discos nas seguintes posições: a. base (altura do corte); 2. DAP (1,30 m do solo); 3. 25% da altura comercial; 4. 50% da altura comercial; 5. 75% da altura comercial; 6. 100% da altura comercial.

### 3.2. Métodos

#### 3.2.1. Incremento volumétrico e percentagem de casca

De cada disco amostrado foram tomadas 2 medições perpendiculares com e sem casca, sendo utilizado o resultado médio com precisão de 0,1 cm. A percentagem de casca foi calculada por subtração de volumes de discos estimados com e sem casca; e o volume real de madeira foi calculado pela fórmula de Smalian, segundo GALVÃO (1974).

#### 3.2.2. Densidade básica

##### 3.2.2.1. Discos

A densidade básica foi determinada a partir de 2 cunhas opostas de cada disco, de aproximadamente 30°, perfazendo um total de 960 corpos de prova. Empregou-se o método da balança hidrostática (Norma ABCP M14/70). A densidade básica média da árvore foi calculada de acordo com BARRICHELO, BRITO e MIGLIORINI (1982).

#### 3.2.3. Densidade aparente por atenuação de radiação gama

##### 3.2.3.1. Anéis de crescimento

Para essas determinações foram utilizadas 5 árvores de cada tratamento, escolhidas ao acaso. Utilizou-se a metodologia preconizada por FERRAZ (1976) e POLGE (1978).

#### 3.2.4. Espessuras, volumes e percentagens de lenhos

A partir dos mesmos corpos de prova, foram tomadas medidas lineares das espessuras dos lenhos. Com base nesses valores foi feita uma estimativa do volume dos lenhos e/ou dos anéis, segundo TOMAZELLO (s/d).

#### 3.2.5. Dimensões de traqueídeos

Foram amostrados traqueídeos em cada anel de crescimento, e em cada tipo de lenho ao longo do raio das cunhas. Para essa ensaio foram escolhidas, ao acaso, 3 árvores de cada tratamento. Utilizou-se a técnica descrita por BARRICHELO e FOELKEL (1982).

#### 3.2.6. Análises químicas

Foram feitas análises quanto a: a. solubilidade em água quente, segundo Norma ABCP M4/88; b. solubilidade em álcool-benzeno, segundo Norma ABCP M6/68; c. teor de pentosanas, segundo a Norma TAPPI T19 m-50; d. teor de holocelulose, segundo MOORE e JOHNSON (1967); e. Teor de lignina, segundo a Norma ABCP M10/71; f. teor de cinzas segundo a Norma TAPPI T15 m-8.

#### 3.2.7. Produção de celulose

##### 3.2.7.1. A partir dos discos e madeira produzida antes e após desbaste

Para cada tratamento foram produzidos, manualmente, cavacos provenientes de todos os discos amostrados.

Para esse ensaio produziu-se 4 lotes de cavacos. Para o cozimento, o material foi colocado em recipientes de tela de aço, permitindo separarem-se os tratamentos dentro de um mesmo digestor.

Empregou-se o processo kraft com as seguintes condições para deslignificação: a. alcali ativo = 16% ; b. sulfidez = 25% ; c. atividade = 100% ; d. relação licor/madeira: 4:1; e. temperatura máxima = 170° ; f. tempo até temperatura máxima = 120 min; g. Tempo à temperatura máxima =

60 min.

Após o cozimento as polpas foram desintegradas mecanicamente e lavadas. Uma vez efetuada a depuração calculou-se o rendimento bruto e de purado e o número KAPPA de cada amostra.

A refinação das polpas foi feita em moinho Jokno em tempos de 60, 75 e 90 minutos, com consistência = 5%.

Foram preparadas folhas para testes no formador e secador Koethen-Rapid e submetidos aos seguintes testes: a. resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto ruptura (m); b. resistência ao rasgo expressa pelo índice de rasgo; c. peso específico aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); d. volume específico aparente ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ); e. porosidade ( $\text{seg}/100 \text{ cm}^3 \text{ ar}$ ).

#### 4. RESULTADOS

Estão apresentados nas tabelas I e II os resultados médios para cada tratamento referentes a altura, DAP, densidade básica, volumes comercial e total e percentagem de casca.

TABELA I. Resultados médios para altura, DAP e densidade básica.

Intensidade de desbaste (%)	Altura total (m)	DAP (cm)	Dens. básica da árvore ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	dens. básica no DAP ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
0	19,9	26,7	0,361	0,395
25	20,6	32,7	0,356	0,391
50	20,0	33,4	0,368	0,399
75	20,2	44,6	0,336	0,357

TABELA II. Resultados médios para volumes comercial e total, e percentagem de casca.

Intensidade de desbaste (%)	Volume comercial ( $\text{dm}^3$ )		Volume total* ( $\text{dm}^3$ )		Percentagem de casca em volume
	c/casca	s/casca	c/casca	s/casca	
0	583,6	466,7	586,8	469,9	20,9
25	858,8	691,8	861,4	694,4	19,6
50	883,2	726,5	885,8	729,2	18,0
75	1530,1	1237,9	1532,3	1240,2	19,2

\* A variação do volume total com casca para os 3 níveis de desbaste adotados foi de 47%; 51% e 161% em relação ao valor numérico médio apresentado pelas parcelas testemunha.

Nas tab. III e IV estão apresentados os resultados obtidos para as análises de variância da densidade básica em função dos tratamentos.

TABELA III. Análise de variância da densidade básica ao nível do DAP em relação aos tratamentos de desbaste.

CV	GL	QM	F
Tratamento	3	0,0075	8,08**
Resíduo	76	0,0009	
Total	79		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de Tukey: diferença mínima significativa = 0,0312 (1% de probabilidade) e 0,0255 (5% de probabilidade).

TABELA IV. Análise de variância de densidade básica média da árvore em relação aos tratamentos de desbaste.

CV	GL	QM	F
Tratamento	3	0,0038	8,06**
Resíduo	76	0,0047	
Total	79		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Teste de Tuckey: diferença mínima significativa = 0,0222 (1% de probabilidade) e 0,0181 (5% de probabilidade).

TABELA V. Dados relativos às regressões lineares para as densidades básicas obtidas ao nível do DAP (x) e aquelas referentes à média da árvore (y), para cada tratamento de desbaste.

Intensidade de desbaste (%)	Equação	Coefficiente de correlação (r)
0	$y = 0,0049 + 0,7897 X$	0,92
25	$y = 0,1203 + 0,6042 X$	0,87
50	$y = 0,2436 + 0,3026 X$	0,47
75	$y = 0,1357 + 0,5604 X$	0,71

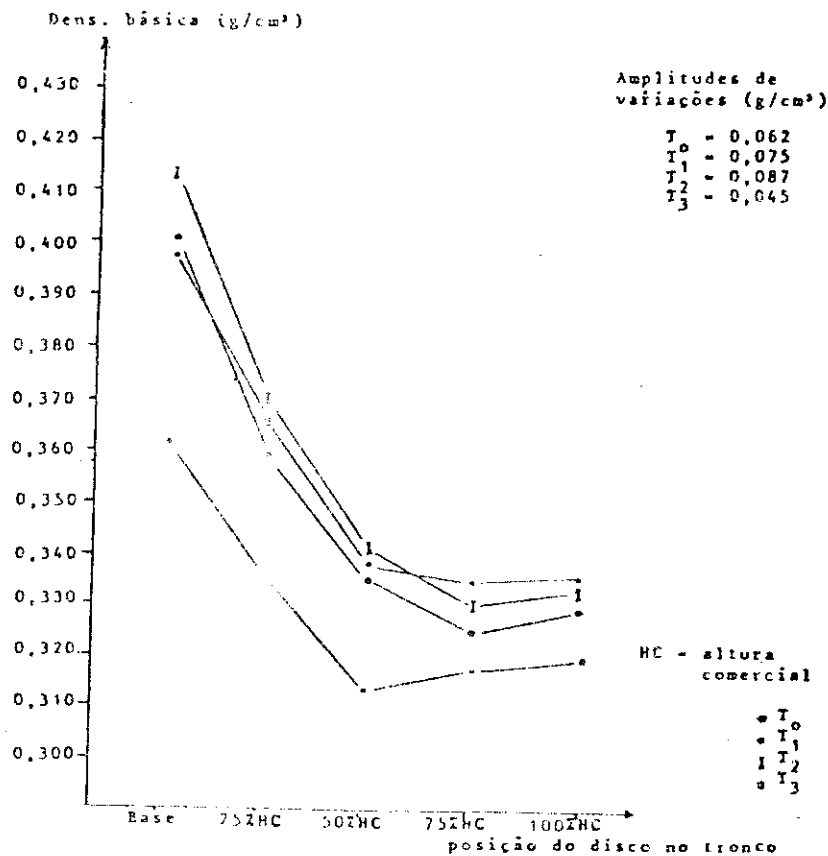
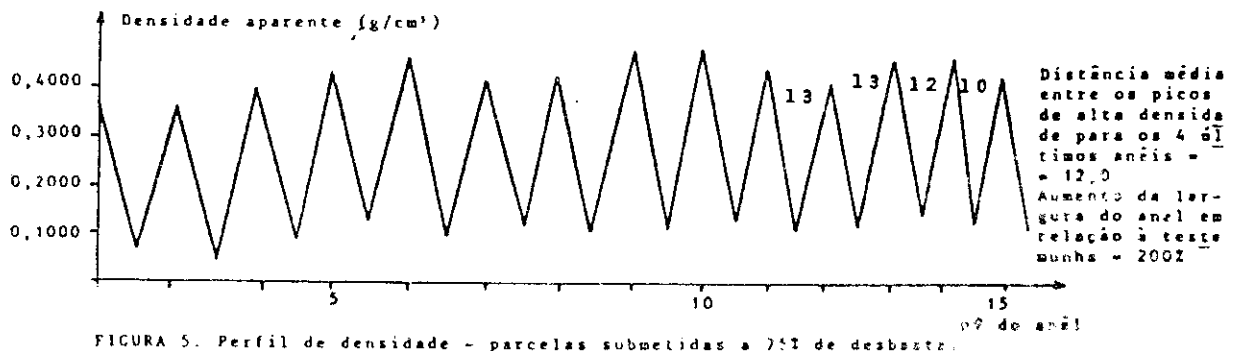
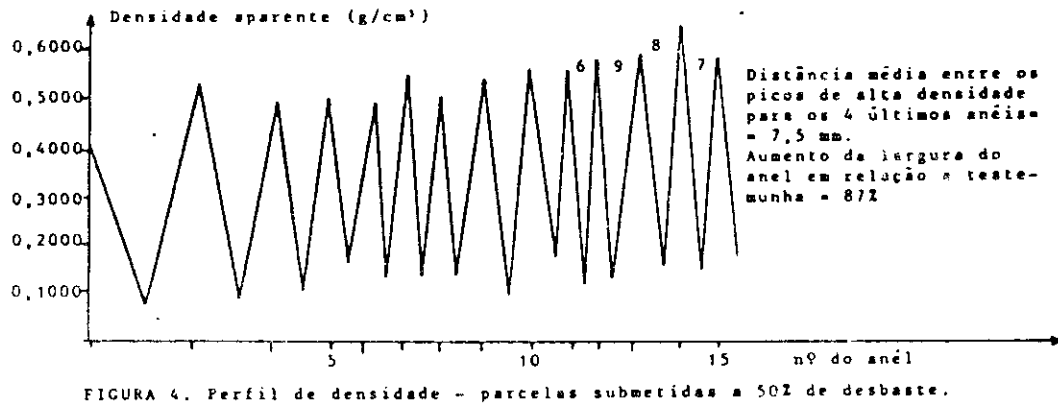
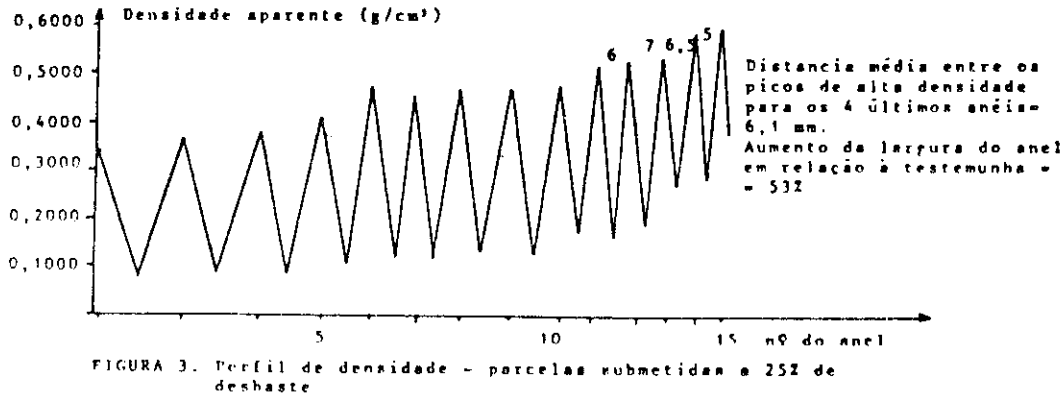
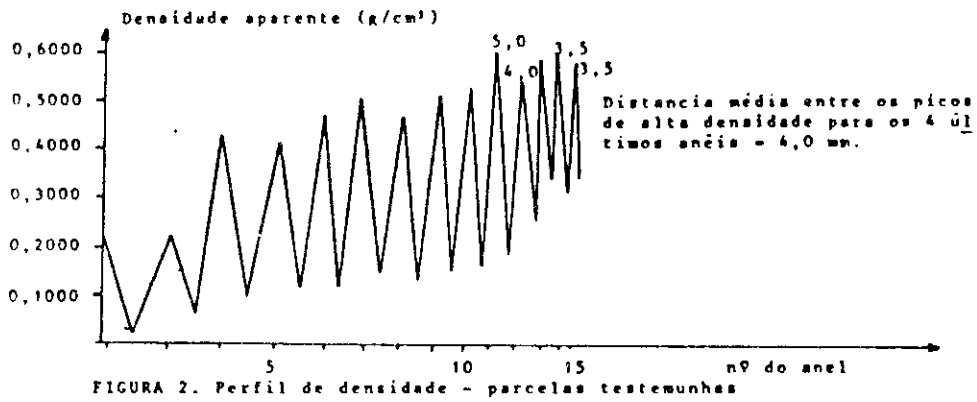


FIGURA 1. Variações longitudinais das médias da densidade básica dos discos.



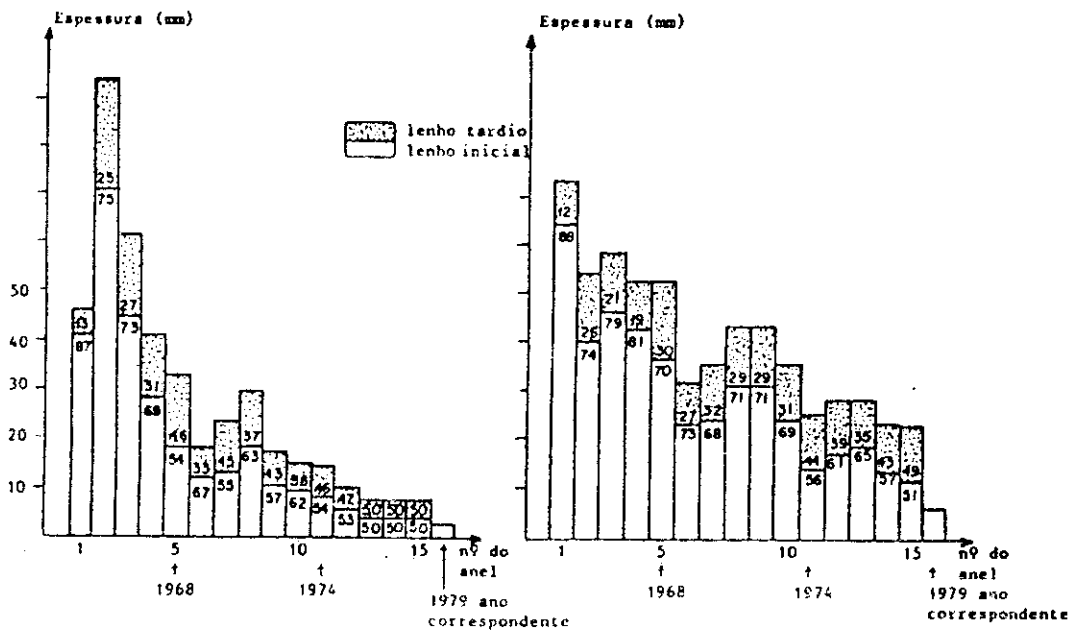


FIGURA 6. Variação radial da espessura do anel de crescimento e percentagem dos lenhos inicial e tardio - parcelas tes temunhas

FIGURA 7. Variação radial da espessura do anel de crescimento e percentagem dos lenhos inicial e tardio - parcelas sub metidas a 25% de desbaste

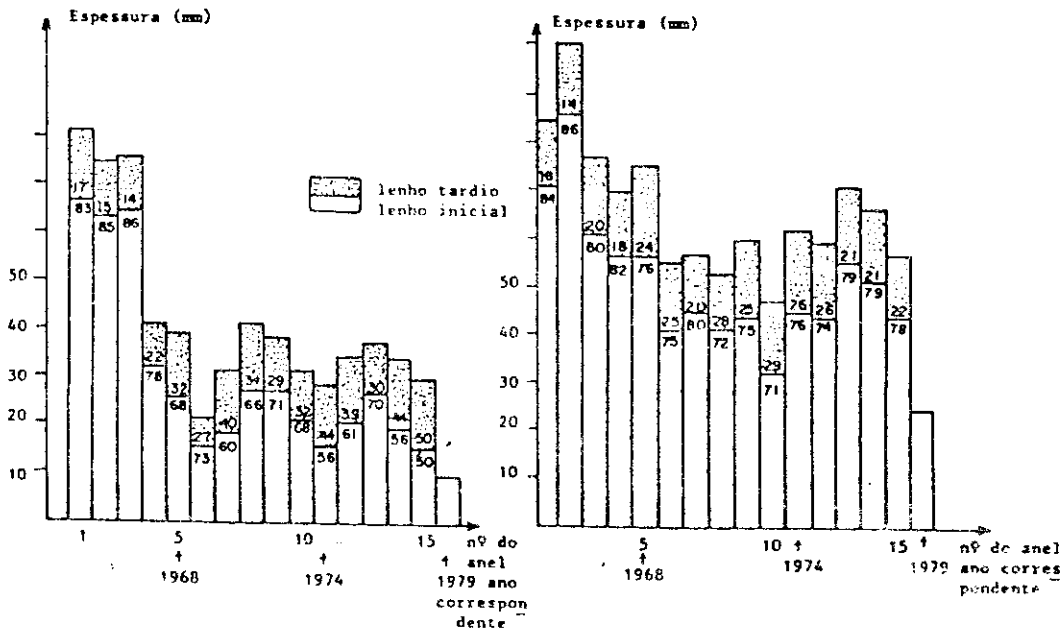


FIGURA 8. Variação radial da espessura do anel de crescimento e percentagem dos lenhos inicial e tardio - parcelas sub metidas a 50% de desbaste.

FIGURA 9. Variação radial da espessura do anel de crescimento e percentagem dos lenhos inicial e tardio - parcelas sub metidas a 75% de desbaste.

TABELA VI. Correlações entre as variações dimensionais dos traqueídeos de lenho inicial e tardio em função dos anéis de crescimento. Modelo da equação  $\log y = a + b l/x$ .

Variável independente (x)	Variável dependente (y)	Intensidade de desbaste	Tipo de lenho	
			inicial r	tardio r
número do anel de crescimento considerado-se sentido da medula-casca	comprimento	0	0,91	0,93
		25	0,91	0,93
		50	0,93	0,98
		75	0,95	0,94
	largura	0	0,91	0,91
		25	0,70	0,70
		50	0,90	0,87
		75	0,92	0,91
	diâmetro do lúmen	0	0,88	0,12
		25	0,75	0,07
		50	0,89	0,52
		75	0,89	0,81
espessura de parede	0	0,33	0,73	
	25	0,71	0,56	
	50	0,73	0,83	
	75	0,17	0,82	

TABELA VII. Comprimento médio dos traqueídeos (C).

Nº do anel	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
1	2,0	2,0	2,5	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3
2	2,3	2,4	2,8	3,0	2,6	3,0	2,7	2,6
3	2,6	2,8	3,1	3,3	3,1	3,5	3,0	3,2
4	2,9	3,0	3,4	3,6	3,3	3,7	3,2	3,2
5	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6	3,7	3,3	3,4
6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	4,0	3,4	3,5
7	3,6	3,7	3,6	3,7	3,9	4,0	3,8	3,6
8	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	4,1	3,7	3,9
9	3,8	4,1	3,9	4,0	3,9	4,1	3,8	4,0
10	4,0	4,0	4,1	4,0	4,1	3,9	3,9	3,7
11	4,0	4,2	4,0	4,1	3,8	4,1	3,7	3,7
12	4,1	4,2	4,1	4,3	4,1	4,2	3,7	3,7
13	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,1	3,7	3,9
14	4,3	4,4	4,4	4,4	4,1	4,2	4,0	4,0

T<sub>0</sub> = testemunha

T<sub>1</sub> = 25% de desbaste

T<sub>2</sub> = 50% de desbaste

T<sub>3</sub> = 75% de desbaste

LI = lenho inicial

LT = lenho tardio

I de redução média do componente comparando-se T<sub>0</sub> com T<sub>3</sub> = 8,51

TABELA VIII. Largura dos traqueídeos (L).

Nº do anel	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
1	41,8	37,8	48,3	43,5	47,0	42,1	45,4	40,8
2	45,5	39,8	51,6	43,3	51,9	43,4	51,0	43,6
3	48,0	40,8	51,8	43,4	52,3	44,0	51,7	45,1
4	48,0	41,1	52,1	44,9	52,7	44,8	50,3	45,3
5	48,7	41,0	52,1	45,0	53,2	45,7	53,6	46,1
6	50,4	47,7	52,2	44,9	53,4	47,3	55,4	46,7
7	50,3	43,7	52,8	46,0	54,5	48,0	54,3	47,7
8	50,6	43,3	54,1	45,3	55,0	46,4	54,6	46,2
9	50,9	42,2	53,0	45,1	56,1	48,3	55,9	47,7
10	49,6	43,3	52,2	45,3	55,0	48,4	56,8	47,6
11	49,8	42,8	53,1	45,8	53,5	47,8	56,1	46,7
12	50,3	42,1	54,8	46,3	55,0	47,9	56,2	47,8
13	45,2	41,9	54,3	46,9	55,8	47,0	55,6	48,4
14	48,5	42,8	54,6	48,0	58,8	48,9	59,1	50,6

T<sub>0</sub> = testemunhaT<sub>3</sub> = 75% de desbasteT<sub>1</sub> = 25% de desbaste

LI = lenho inicial

T<sub>2</sub> = 50% de desbaste

LT = lenho tardio

TABELA IX. Correlações entre as relações das dimensões fundamentais dos traqueídeos do lenho inicial e tardio em função dos anéis de crescimento. Modelo da equação  $\log y = a + b 1/x$ .

Variável independente (x)	Variável dependente (y)	Intensidade de desbaste (I)	Tipo de lenho	
			inicial r	tardio r
número do anel de crescimento consideran- do-se senti- do medula- -casca	índice de enfeltra- mento	0	0,80	0,83
		25	0,86	0,91
		50	0,87	0,97
		75	0,88	0,90
do-se senti- do medula- -casca	coeficiente de flexibili- dade	0	0,26	0,47
		25	0,26	0,45
		50	0,02	0,44
		75	0,20	0,54
-casca	fração parede	0	0,32	0,15
		25	0,21	0,46
		50	0,42	0,51
		75	0,48	0,65
	índice de Runkel	0	0,05	0,19
		25	0,23	0,47
		50	0,30	0,41
		75	0,28	0,53

TABELA X. Correlações entre as variações dimensionais dos traqueídeos do lenho inicial e tardio em função da variação da densidade no sentido medula-casca. Modelo da equação  $y = a + bx$ .

Variável independente (x)	Variável dependente (y)	Intensidade de desbaste	Tipo de lenho	
			inicial r	tardio r
comprimento		0	0,87	0,92
		25	0,80	0,89
		50	0,67	0,76
		75	0,74	0,78
largura		0	0,33	0,85
		25	0,71	0,90
		50	0,73	0,70
		75	0,61	0,57
diâmetro do lúmen	densidade básica	0	0,37	0,01
		25	0,67	0,21
		50	0,73	0,31
		75	0,74	0,45
espessura da parede		0	0,10	0,78
		25	0,38	0,80
		50	0,60	0,80
		75	0,03	0,58

TABELA XI. Resultados das análises químicas efetuadas para as regiões do lenho formadas antes e depois do desbaste.

	Região interna - madeira formada antes do desbaste						Região externa - madeira formada depois do desbaste					
	solubilidade em água quente (%)	solubilidade em álcool benzeno (%)	teor de pentosa nas (%)	teor de holoce-lulose (%)	teor de lignina (%)	teor de cinzas (%)	solubilidade em água quente (%)	solubilidade em álcool benzeno (%)	teor de pentosa nas (%)	teor de holoce-lulose (%)	teor de lignina (%)	teor de cinzas (%)
0	3,78	2,9	12,0	79,7	28,1	0,2	2,55	2,0	11,5	80,1	27,5	0,1
25	2,84	3,2	12,2	79,7	27,5	0,2	2,61	2,9	11,2	79,9	27,0	0,2
50	3,58	3,1	12,0	79,5	26,5	0,2	3,92	2,8	11,3	79,6	26,9	0,2
75	4,96	3,0	11,9	77,4	26,9	0,2	3,78	2,9	11,0	78,2	27,6	0,2

TABELA XII. Resultados das análises químicas efetuadas para as amostras de todos os discos, representando a árvore inteira.

Intensidade de desbaste	solubilidade em água quente (%)	solubilidade em álcool benzeno (%)	teor de pentosa nas (%)	teor de holoce-lulose (%)	teor de lignina (%)	teor de cinzas (%)
0	3,10	2,8	11,7	79,2	27,9	0,2
25	3,00	3,1	12,0	77,8	27,5	0,2
50	3,15	3,2	12,1	77,8	27,3	0,1
75	3,88	3,1	11,6	77,0	27,4	0,2

TABELA XIII. Resultados médios dos cozimentos efetuados utilizando-se re-  
giões do lenho formados antes e depois dos desbastes.

Intensidade de desbaste (2)	Região interna - madeira forma- da antes do desbaste					Região externa - madeira forma- da depois do desbaste				
	RB	RD	X de rejei- tos	NK	Viscosi- dade CPS	RB	RD	X de rejei- tos	NK	Viscosi- dade CPS
0	50,2	48,5	1,7	70,7	28,3	51,7	50,0	1,7	73,8	29,6
25	50,5	49,2	1,3	67,3	28,1	51,8	49,5	2,3	71,4	28,3
50	51,3	50,0	1,3	70,0	27,2	49,2	48,2	1,0	72,0	28,0
75	46,6	46,2	0,1	64,6	25,7	48,1	48,1	0,0	64,2	26,7

TABELA XIV. Resultados médios dos cozimentos efetuados, utilizando-se amos-  
tra composta referente a árvore inteira.

Intensidade de desbaste	RB	RD	X de rejei- tos	NK	Viscosi- dade CPS
0	51,2	50,5	0,7	74,7	27,7
25	52,6	51,0	1,6	65,3	29,1
50	50,5	49,5	1,0	70,0	27,9
75	48,5	48,5	0,0	64,99	26,1

TABELA XV. Resultados relativos aos ensaios físico-mecânicos efetuados para as folhas de celulose produzidas a partir da madeira formada antes dos desbastes.

Intensidade de desbaste (%)	Tempo de moagem (min)	Graus Shopper Riegler	Índice de Rasgo	Comprimento de auto-ruptura (m)	Espessura (mm)	Peso específico aparente	Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> de ar)
0	60	9	189	6680	0,093	0,624	1,60	3,0
	75	16	177	6900	0,089	0,645	1,55	30,0
	90	36	154	7080	0,083	0,670	1,50	120,0
25	60	19	152	6500	0,094	0,622	1,60	2,0
	75	23	137	7080	0,091	0,631	1,58	3,0
	90	53	123	6940	0,088	0,645	1,55	100,0
50	60	19	163	7300	0,096	0,623	1,60	6,0
	75	32	152	8000	0,093	0,631	1,57	30,0
	90	49	142	7900	0,088	0,667	1,50	190,0
75	60	21	123	7640	0,091	0,673	1,48	32,0
	75	44	110	8140	0,088	0,687	1,45	132,0
	90	64	106	8020	0,083	0,735	1,40	702,0

TABELA XVI. Resultados relativos aos ensaios físico-mecânicos efetuados para as folhas de celulose produzidas a partir da madeira formada depois dos desbastes.

Intensidade de desbaste (%)	Tempo de moagem (min)	Graus Shopper Riegler	Índice de rasgo	Comprimento de auto-ruptura (m)	Espessura (mm)	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> de ar)
0	60	14	195	7410	0,099	0,568	1,76	12,0
	75	29	182	7650	0,095	0,583	1,71	82,0
	90	50	160	7700	0,090	0,619	1,61	180,0
25	60	14	235	6000	0,099	0,594	1,68	3,0
	75	29	214	6390	0,094	0,615	1,62	23,0
	90	47	197	6390	0,091	0,625	1,60	90,0
50	60	19	198	7220	0,096	0,626	1,60	3,0
	75	22	180	7420	0,092	0,634	1,58	33,0
	90	48	158	7610	0,088	0,634	1,54	140,0
75	60	28	152	7700	0,092	0,671	1,48	11,0
	75	44	135	7950	0,089	0,686	1,46	30,0
	90	62	118	7750	0,084	0,724	1,38	480,0

TABELA XVII. Resultados relativos aos ensaios físico-mecânicos efetuados para as folhas de celulose produzidas a partir da amostra composta.

Intensidade de desbaste (%)	Tempo de moagem (min)	Graus Shopper Riegler	Índice de rasgo	Comprimento de tura (m)	Espessura (mm)	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> de ar)
0	60	15	165	7720	0,098	0,613	1,63	6,0
	75	20	155	8110	0,095	0,629	1,59	22,0
	90	38	144	7980	0,091	0,645	1,55	74,0
25	60	15	172	8020	0,096	0,629	1,59	6,0
	75	20	165	8200	0,093	0,641	1,56	12,0
	90	39	150	8000	0,089	0,662	1,51	114,0
50	60	14	165	7920	0,096	0,645	1,55	8,0
	75	19	142	8150	0,093	0,653	1,53	14,0
	90	41	130	8200	0,088	0,667	1,50	136,0
75	60	19	129	8280	0,090	0,662	1,51	20,0
	75	26	126	8420	0,088	0,671	1,49	64,0
	90	50	122	8350	0,084	0,685	1,46	500,0

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nas tabelas I e II mostram a influência direta dos desbastes sobre o DAP e consequentemente sobre o volume total de madeira produzida. De acordo com MELLO (1974) atingiu-se o objetivo prioritário da prática adotada.

A altura média dos indivíduos não se mostrou afetada pelos desbastes, mesmo que tenha sido adotado desbaste "por baixo", com seleção de árvores superiores.

Com relação a densidade básica, que mostrou tendência à redução em função dos tratamentos, a análise de variância (tabelas III e IV) mostrou que esse fenômeno está relacionado aos desbastes com valores de F significativos ao nível de 1% de probabilidade. A redução da densidade para o tratamento mais intenso (75%) foi de 7%, referente a amplitude de  $0,026 \text{ g/cm}^3$ .

A tabela V apresenta dados mostrando que os desbastes tendem a reduzir os valores dos índices de correlação entre densidade básica média da árvore e ao nível do DAP.

Os desbastes tiveram efeitos sobre a amplitude de variação no sentido longitudinal do tronco (Figura 1) e no sentido transversal (Figuras 2 a 5). Nessas últimas figuras pode observar-se também o alargamento dos anéis com a intensificação dos desbastes. O fato foi constatado pelo distanciamento dos picos de alta densidade que, em relação à testemunha tiveram acréscimos da ordem de 53, 87 e 200% respectivamente, em resposta aos desbastes de 25, 50 e 75%.

As Figuras 6 a 9 ilustram os incrementos volumétricos anuais para cada tratamento mostrando inclusive as variações nas percentagens de lenhos.

Nas Tabelas VI e IX apresentam os índices de correlação para as equações testadas para as variações radiais anatômicas dentro de cada tratamento. Para os parâmetros comprimento e largura dos traqueídeos, as equações se adaptam com altos índices para os dois tipos de lenho. Para o comprimento do traqueídeo do tratamento mais intenso, porém, os índices se mostraram mais elevados. Como o modelo testado propõe uma estabilização da dimensão na fase adulta dos indivíduos, os índices tendem a decrescer para os casos em que os traqueídeos continuam a alongar-se após a fase juvenil em consequência da competição [parcelas testemunhas e desbastes leves (25%)].

A Tabela X apresenta as correlações das variações anatômicas com a densidade.

Essas variações anatômicas foram acompanhadas também de diminuição nos teores de holocelulose de 2,4% para 75% de desbaste em relação à testemunha (Tabelas XI e XII). Com base nos dados dessas tabelas pode-se constatar também a elevação no teor de solúveis em água quente de 54 e 48% para os desbastes de 50 a 75%, assim como de 10,7% para solubilidade em álcool benzênico.

Não foi detectada uma queda progressiva do rendimento do processo de deslignificação em função dos níveis dos tratamentos adotados; no entanto, para o desbaste mais intenso os rendimentos sempre foram menores (Tabelas XIII e XIV). Em relação às parcelas testemunhas essas variações oscilaram entre 4 e 7%. Para o número kappa foram observadas as maiores variações percentuais. Adotando-se os mesmos parâmetros de comparação para a madeira proveniente da região do tronco formada antes do desbaste, o tratamento mais intenso provocou uma redução de 9% no valor do número kappa. Para a madeira formada após a aplicação dos tratamentos a variação foi de 13%, semelhante ao obtido para a amostragem feita sobre a árvore inteira.

Para os valores das viscosidades ocorreram pequenas alterações entre os primeiros tratamentos sendo que o último nível promoveu reduções entre 6 e 10%. As menores variações percentuais foram constatadas para a amostragem efetuada longitudinalmente no tronco.

Em relação às propriedades físico mecânicas da celulose, com base nas Tabelas XV, XVI e XVII o que pode constatar é que o ritmo de crescimento mais elevado implicou em produção de traqueídeos mais largos, mais curtos, com maior diâmetro do lúmen, enquanto que as folhas apresentaram menor resistência à tração, menor volume específico, maior peso específico e menor porosidade, quando analisadas a altos graus de refino. Interessante notar que não ocorreu variações na espessura de parede dos traqueídeos em função dos tratamentos.

Esses dados obtidos servem para justificar os projetos de manipulação das características da madeira em função das propriedades requeridas na celulose final.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nas discussões dos resultados foi possível concluir que:

1. Os desbastes com intensidades de 25, 50 e 75% promoveram, respectivamente, incrementos volumétricos da ordem de 47, 51 e 161% em relação à testemunha.

2. Os tratamentos promoveram incrementos na largura dos anéis de crescimento sendo que para os níveis de 25, 50 e 75% o alargamento médio constatado foi, respectivamente de 53, 87 e 200%.

3. Os tratamentos de desbaste com 25 e 50% de intensidade promoveram acréscimo de 10% em volume para o lenho inicial, enquanto que o tratamento onde o nível de desbaste foi de 75% o acréscimo do referido parâmetro chegou a 30%.

4. Em relação à densidade básica:

4.1. Os valores da densidade básica média da árvore sofreram uma redução de 7% confrontando-se as parcelas testemunhas com aquelas submetidas a 75% de desbaste. Não foi constatada influência gradativa e definida em função dos tratamentos.

4.2. O fenômeno de redução da densidade básica em virtude da aceleração do ritmo de crescimento apresentou-se correlacionado com o aumento em largura e diâmetro da lúmen dos traqueídeos, redução de seu comprimento e aumento na proporção de lenho inicial.

4.3. Ocorreu uma redução na amplitude de variação da densidade básica no sentido longitudinal do tronco. No sentido radial, ficou constatado que os desbastes atenuaram as variações de densidade dos lenhos em função da idade. Os tratamentos induziram, porém, maior amplitude de variação entre os valores de densidade dos lenhos inicial e tardio.

5. Quanto às características anatômicas:

5.1. O tratamento de desbaste com 75% de intensidade apresentou traqueídeos com menores comprimentos. O fenômeno foi interpretado como uma estabilização dessa dimensão após a fase juvenil, ao contrário do que ocorreu para os traqueídeos originados de indivíduos submetidos a regimes de competição.

5.2. Ocorreram incrementos para os valores de largura e diâmetro do lúmen em função dos desbastes, embora a espessura de parede dos traqueídeos não tenha mostrado variações definidas em função dos tratamentos.

6. Em relação à composição química da madeira:

6.1. Para os tratamentos de desbaste com 50 e 75% de intensidade verificou-se acréscimo de, respectivamente, 54 e 48% no teor de solúveis em água quente.

6.2. O desbaste mais intenso, com 75% de intensidade, promoveu redução de 2,4% no teor de holocelulose em relação a testemunha.

6.3. Os tratamentos não mostraram influenciar os teores de cinzas, lignina e pentosanas.

7. Quanto ao processo de deslignificação:

7.1. Os valores de rendimento bruto sofreram redução de 4 a 7% para o tratamento mais intenso em relação à testemunha.

7.2. O nível de deslignificação obtido, expresso pelo número kappa sofreu uma redução de 9 a 13% para o tratamento mais intenso.

7.3. Confrontando-se os níveis extremos do experimento constatou-se uma redução nos valores para viscosidade de 6 a 10%.

8. Considerando-se as propriedades físico-mecânicas da celulose produzida:

8.1. Os desbastes promoveram melhorias nas propriedades de ligação com aumento na resistência à tração, sem que tenha ocorrido, contudo, nítidas diferenças entre tratamentos.

8.2. A resistência ao rasgo apresentou um gradativo decréscimo à medida em que os tratamentos de desbaste já foram intensificados.

8.3. Para um mesmo grau de refinação ocorreu um aumento progressivo do peso específico em função dos tratamentos associados à redução na espessura e porosidade da folha.

## 7. LITERATURA CITADA

- BARRICHELO, L.E.G., 1979. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. e Golf. para produção de celulose kraft. Piracicaba, 167 p. (Tese de Livre-Docência). ESALQ/USP.
- BARRICHELO, L.E.G. e C.E.B. FOELKEL, 1982. Processo nítrico acético para maceração de madeira. *Silvicultura*, São Paulo, 8(28): 732-3, jan/fev.
- BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1978. A madeira de *Pinus taeda* como matéria prima para celulose kraft. I. Influência sobre teores de lenhos. Congresso Florestal Brasileiro, Manaus (3): 1-18.
- BARRICHELO, L.E.G., J.O. BRITO e A.J. MIGLIORINI, 1982. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. *Silvicultura*, São Paulo (8) 28:726-731.
- BROWN, H.P., A.J. PANSIN e C.C. FORSAITH, 1952. *Textbook of Wood Technology*. N. York. Mc Graw Hill. v. 2.
- CASEY, J.P., 1960. *Pulp and paper chemistry and chemical technology*. New York, Interscience publishers, v. II.
- COWN, D.J., 1974. Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Rotowa, 4(13): 540-51.
- FERRAZ, E.S.B., 1976. Determinação da densidade de madeira por atenuação de radiação gama de baixa energia. IPEF, Piracicaba, (12): 61-8.
- FOELKEL, C.E.B., 1977. A penetração dos licóres de cozimento no interior da madeira. Ipatinga CENIBRA/

- FOELKEL, C.E.B. *et alii*, 1976. Celulose kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. IPEF, Piracicaba, (12): 127-42.
- FOELKEL, C.E.B. e L.E.G. BARRICHELO, 1975. *Tecnologia de Celulose e papel*. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ, 207 p.
- GALVÃO, A.P.M., 1967. Dendrometria e inventario florestal. Piracicaba, ESALQ. 100 p.
- KRAMER, P.J. e T.T. KOLZLOWSKI, 1972. *Fisiologia das árvores*. Lisboa, Calouste Gulbenkian. 745 p.
- KROMHOUT, C.P., 1968. The influence of stand density on certain anatomical wood properties of *Pinus pinaster* in two C.C.T. stands. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 31: 163, 1970.
- KOCH, P., 1972. Utilization of the southern pines. Washington, US. Department of Agriculture Forest Service. 2 v.
- LOBZANIDZE, E.D., 1968. Change in the cambial activity and wood structure of Oak in relation to thinning. Apud *Forestry Abstracts*, Oxford, 31: 382.
- MEIER, H., 1964. General chemistry of cell walls and distribution of the chemicals constituents across the walls. In: ZIMMERMANN, M.H. *The formation of wood in forest trees*, New York, Academic Press, p. 137-152.
- MELLO, H.A., 1974. *Silvicultura Geral e Dendrologia*. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ. 207 p.
- MOORE, W.E. e D.B. JOHNSON, 1967. Procedures for the chemical analysis of wood and wood products. 8 p.
- PANSHIN, A.J. e C. DE ZEEW, 1970. *Textbook of wood. Technology* 3 ed., New York, Mc Graw Hill. 705 p.
- PARKER, M.L., K. HUNT, W.G. WARREN, R.W. KENNEDY, 1976. Effects of thinning and fertilization on intra-ring characteristics and kraft pulp yield of Douglas fir. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 39: 62, 1978.
- POLGE, H., 1978. Fifteen years of wood radiation densiometry. *Wood Science Technology*, Berlin, 12:187-96.
- SAVINA, A.V. e I.V. YAKIMOV, 1976. Effect of tending feelings on the growth and development of Pine. Apud: *Forestry Abstracts*. Oxford, 38: 231, 1977.
- SYDE, H.A. VAN DER, 1976. Resin infiltrated heart shakes in *Pinus elliottii* grown in Transvaal. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 38: 166, 1977.