UMA NOVA ABORDAGEM PARA ANÁLISE DA OPACIDADE DO PAPEL

MARIA APARECIDA CARPIM

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

**Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Florestal.**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1986**

Aos meus pais, **Silvio e Joana**
e ao meu noivo, **Marcos**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, pela orientação e dedicação.

Ao Dr. Ergilio Claudio-da-Silva Jr., pelo apoio e constante incentivo.

Ao Eng^o Ricardo Luiz de Vasconcellos Dias, pelas sugestões.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade.

Às empresas Aracruz Celulose S.A. e Duraflora Silvicultura e Comércio Ltda, pelo fornecimento do material e apoio.

Aos funcionários do Centro de Pesquisas e Tecnologia da Aracruz Celulose S.A. e do Departamento de Ciências Florestais, pelo auxílio na parte experimental do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo suporte financeiro necessário a realização do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Í N D I C E

	Pág.
RESUMO	<i>vii</i>
SUMMARY	<i>ix</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Material	13
4.2. Métodos	14
4.2.1. Polpas produzidas em laboratório ...	14
4.2.2. Polpas comerciais	18
4.2.3. Análises das propriedades das polpas	19
4.2.3.1. Medições das dimensões das	
fibras	19
4.2.3.2. Preparo das folhas	20
4.2.3.3. Propriedades óticas	20
4.2.3.4. Propriedades físico-mecânicas	21
4.2.3.5. Propriedades químicas	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1. Propriedades óticas	22
5.1.1. Propriedades das polpas comerciais	
de <i>Eucalyptus grandis</i> e composta....	22
5.1.2. Polpas separadas pelo classificador	
de fibras "Bauer McNett"	31

5.1.3. Polpas produzidas em laboratório ...	39
5.1.4. Polpas comerciais	43
5.1.5. Análise de Regressão Linear	45
5.2. Propriedades físico-mecânicas	51
6. CONCLUSÕES	64
7. LITERATURA CITADA	66
APÊNDICE	74

UMA NOVA ABORDAGEM PARA ANÁLISE DA OPACIDADE DO PAPEL

Autora : MARIA APARECIDA CARPIM

Orientador: Prof.Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

RESUMO

Este trabalho teve como finalidade avaliar a influência do número de fibras por grama de polpa nas propriedades de espalhamento de luz e opacidade do papel, procurando esclarecer como este parâmetro pode interferir na consolidação das fibras na folha de papel.

Foram utilizadas polpas produzidas de madeira de diferentes regiões da seção transversal de árvores de *Eucalyptus grandis* e polpas comerciais não refinadas de *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. deglupta*, *E. globulus*, *Betula verrucosa*, *Gmelina arborea* e pinheiros tropicais.

Dentre as polpas comerciais, as quatro primeiras, além de serem analisadas na forma original, sofreram classificação das fibras pelo "Bauer McNett", através de

três peneiras de 30, 50 e 100 mesh, separando a polpa original de cada espécie em quatro (R-30, R-50, R-100 e P-100).

Além das propriedades óticas e de resistência físico-mecânicas, foram determinadas as características das fibras e a composição química das polpas, para suas caracterizações.

Os resultados obtidos mostraram que polpas com maior número de fibras por grama apresentaram maior opacidade do papel, pois continham mais interfaces fibra-ar, o que favoreceu o espalhamento da luz e a opacidade.

Em relação às propriedades físico-mecânicas à resistência ao ar Gurley, ficou demonstrado que as polpas com grande quantidade de fibras produziram índices superiores de resistência à tração e ao estouro, já que possuíam mais pontos de contato e maior número de ligações. Ao mesmo tempo, se observou nessas polpas maior resistência a passagem do ar.

A NEW APPROACH FOR THE ANALYSIS OF THE PAPER OPACITY

Author : MARIA APARECIDA CARPIM

Adviser: Prof.Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

SUMMARY

The objectives of this work were to evaluate the influence of the number of fibers per gram of pulp in the properties of light scattering and opacity of a sheet of paper, and try to explain how these parameters can interfere in the consolidation of fibers in a sheet of paper with pulps obtained from wood of different transversal cross sections of trees of *E. grandis*, and from commercial pulps without refining of *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. deglupta*, *E. globulus*, *Betula verrucosa*, *Gmelina arborea* and tropical pine.

The first four commercial pulps described were analysed in their original form and also had their fibers classified by the "Bauer McNett" through three

sieves of 30, 50 and 100 mesh, which have resulted in four fractions of pulps (called R-30, R-50, R-100 and P-100) for each species. These fractions were submitted to tests of optical and physical properties of the paper, and had their fibers characterized through anatomical and chemical determinations.

The analysis of results indicated that pulps with the greatest number of fibers per gram showed the greatest paper opacity, because they had much more interfaces air-fiber which have increased the light scattering and opacity of the paper.

In relation to the physical properties, it had been proved that pulps with high quantities of fibers give high indices of resistance to burst and tensile, since they had more much contact points and interfiber bonding. At the same time, it has been observed in these pulps a greater resistance to the passing air.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o principal exportador mundial de celulose de fibra curta e importante fornecedor de papéis de escrita e impressão para os mercados da África, Ásia, América Latina e Oceania.

A crescente demanda por produtos de melhor qualidade é uma indicação da necessidade de serem desenvolvidos estudos acerca dos principais parâmetros que a condicionam. No contexto geral, a opacidade se destaca como uma das propriedades mais exigidas na fabricação de papéis de escrita e impressão.

Uma das formas usuais para melhorar esta propriedade é através do aumento da gramatura (gramas de papel por metro quadrado). Todavia esta alternativa contraria

a tendência atual no sentido de se diminuir este parâmetro para reduzir o custo. Outras soluções como redução do grau de refinação ou aumento do teor de cargas trazem como consequências desfavoráveis a diminuição das resistências mecânicas do papel produzido.

No que se refere à matéria-prima, as características das fibras e composição química da polpa também influenciam as propriedades do papel. Os aspectos anatômicos são considerados os mais importantes e diretamente relacionados com as propriedades óticas e de resistências.

Dessa maneira, se torna fundamental a compreensão das inter-relações entre características das fibras e propriedades do papel. Em particular, o estudo de novos parâmetros, como o número de fibras por grama, deve possibilitar melhor conhecimento das características da polpa, que podem melhorar sua qualidade.

2. OBJETIVO

Analisar a influência do número de fibras por grama de polpas obtidas de folhosas e coníferas e suas características sobre as propriedades de espalhamento de luz e opacidade do papel e os reflexos nas principais resistências físico-mecânicas.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A estrutura do papel é constituída por vários elementos formando interfaces entre si e com o ar. Devido esse fato, a luz incidente em uma folha torna-se difusa quando parte é refletida, espalhada a diferentes ângulos e absorvida (CLARK, 1978). Os fenômenos de reflexão, espalhamento e absorção da luz são responsáveis pela alvura e opacidade do papel.

O método convencional utilizado para avaliação dessas propriedades óticas é baseado na teoria do espalhamento da luz desenvolvida por Kubelka e Munk em 1931. Esta teoria foi modificada em trabalhos posteriores, sendo ainda sumarizada em trabalhos mais recentes (HILLEND, 1966; ROBINSON, 1975 e SCALLAN, 1985).

A teoria de Kubelka e Munk considera a folha de papel como uma fina camada formada por um grande número de pequenos elementos, cada um contribuindo para refle-xão e diluição da luz que incide sobre a folha, proporcionando o espalhamento e absorção. Pela utilização das equações que governam esses processos elementares, Kubelka e Munk de-rivaram outras que podem estimar os coeficientes de espalha-mento (s) e absorção de luz (k), a alvura e a opacidade do papel, através dos fatores de reflectância R_0 e R_∞ . O pri-meiro fator é obtido de uma única folha com fundo escuro e o segundo, R_∞ , por um conjunto de folhas suficientemente opaca

Desta maneira, o valor da opacidade descreve a habilidade de uma única folha de papel em obstruir a passagem de luz e pode ser obtida através da relação R_0/R_∞ . A opacidade é dependente das duas constantes básicas da teoria de Kubelka e Munk, ou seja, os coeficientes de espalhamento e absorção de luz.

Para CLARK (1978), os coeficientes de espalhamento e absorção fornecem estimativas da capacidade da folha de papel em espalhar e absorver a energia da luz.

Segundo GIERTZ (1965), o coeficiente de absorção é de secundário interesse, porque é controlado pelo processo de cozimento, grau de branqueamento e reversão da alvura. Por outro lado, o coeficiente de espalhamento é in-fluenciado pela matéria-prima fibrosa, condições de polpação

e maioria das operações de fabricação do papel. Todas estas variáveis podem ser alteradas e modificar outras propriedades do papel além da opacidade.

Para CASEY (1960), o coeficiente de espalhamento é proporcional à área total de superfície por unidade de massa do material, à densidade aparente e ao índice de refração e, geralmente, está ligado à estrutura do papel, fatores também citados por ROBINSON (1976). O coeficiente de absorção, por sua vez, é proporcional ao comprimento médio do caminho atravessado pela luz que passa pelo material, à densidade aparente, ao índice de refração e dependente da natureza química do papel. O mesmo autor afirma ainda que, uma vez que os valores dos coeficientes de espalhamento e absorção tenham sido determinados para dada polpa, pode ser assumido que esses valores permanecem constantes, a menos que mudanças sejam feitas no método de preparação da mesma.

Segundo LAW e KORAN (1981), o coeficiente de espalhamento ótico mede a quantidade de luz que se difunde pelo material. Este parâmetro fornece um índice da área de ligação das fibras, com a suposição que o aumento das ligações tornará a folha mais transparente, diminuindo assim a difusão da luz. Esta hipótese está de acordo com as observações de NORDMAN (1965) que a luz é espalhada pela superfície das fibras que não estão em contato.

Posteriormente SCALLAN e BORCH (1972), baseados também nos coeficientes de espalhamento e absorção, apresentaram novo modelo teórico para interpretar a reflectância da luz na folha de papel.

Estes autores descreveram a teoria em termos de um modelo que considera a estrutura interna da folha constituída de limitado número de camadas paralelas, alternadas com ar e material sólido (camadas de celulose), sendo este modelo mais relacionado com a morfologia do papel.

Utilizando este modelo SCALLAN e BORCH (1972, 1974 e 1976a) demonstraram que a teoria pode descrever a variação das propriedades óticas das polpas de diferentes níveis de alvura, graus de moagem, gramatura e espécies, além de explicar o efeito da distribuição de massa no papel. Estes autores consideram que esta teoria tem algumas vantagens sobre a que foi apresentada por Kubelka-Munk. O modelo é mais próximo da real morfologia do papel do que o modelo homogêneo assumido anteriormente e as equações são derivadas de uma consideração mais realista dos processos elementares de espalhamento e absorção de luz.

Este modelo foi utilizado por HASUIKE e MURAKAMI (1985) para analisar os resultados do aumento do coeficiente de espalhamento e da opacidade do papel com a refinação das polpas de fibras de parede espessa; nesse estudo registraram também incrementos nas propriedades físico-mecâ-

nicas do papel. Os autores concluíram que a melhoria das propriedades óticas podia ser explicada pelo aumento do número de camadas oticamente ativas da teoria desenvolvida por SCALLAN e BORCH.

Trabalho anterior apresentado por HIGGINS *et alii* (1973), mostrou resultados semelhantes. A partir da refinação de polpas produzidas com espécies de alta densidade foram obtidas maiores resistências físico-mecânicas do papel, sem a redução de sua opacidade.

No entanto, muitos trabalhos registrados na literatura, particularmente os que avaliam seus resultados correlacionando com as características anatômicas das fibras, têm mostrado, geralmente, que os fatores que favorecem os incrementos das resistências físico-mecânicas têm reflexos negativos nas propriedades óticas, principalmente na opacidade do papel.

Segundo SCALLAN e BORCH (1976b) quanto mais extensivamente as fibras estão ligadas menor a eficiência da folha de papel no espalhamento da luz, sendo esta a razão primária que após o tratamento de refino a polpa ganha em resistência à tração e em contra-partida perde em opacidade.

FOELKEL *et alii* (1976) encontraram para as polpas de madeira juvenil maior resistência à tração e ao arrebentamento comparadas às de madeira adulta de *Pinus elliot*ti, enquanto a opacidade foi menor. Os autores justificaram

o fato pelas fibras das polpas de madeira juvenil se colapsarem com facilidade durante a refinação e apresentarem maior capacidade de se interligarem.

KIBBLEWHITE (1979) estudou amostras de papel branco para impressão "off-set" com alta e baixa opacidade para determinar se as diferenças nas mesmas poderiam estar relacionadas com as características das fibras e com a proporção, distribuição e conteúdo das cargas. Através de técnicas de microscopia quantitativa, o autor observou que papéis com baixa opacidade foram consolidados e continham fibras mais colapsadas e unidas do que papéis com alta opacidade. Concluiu que esta propriedade sofreu uma queda devido à diminuição do coeficiente de espalhamento, causado pelo aumento das ligações entre fibras. A média e a distribuição do diâmetro e do comprimento das fibras foram similares para ambos os papéis.

NICHOLLS e JAMIESON (1976) estudaram polpas produzidas com lenho primaveril e outonal. Comparando o papel produzido com estas polpas, de mesma densidade aparente, encontraram alto coeficiente de espalhamento e baixa resistência à tração para as polpas do lenho primaveril.

Para COLLEY (1973), as fibras de paredes espessas têm pior conformabilidade lateral e as propriedades de resistência dependentes da interligação entre elas são inferiores às fibras de paredes finas. O autor concluiu que, co

mo resultado da dificuldade das fibras se colapsarem quando secas após a refinação, papéis feitos com fibras de paredes espessas possuem maior volume específico e rigidez e em geral, maior opacidade do que aqueles com fibras de paredes delgadas.

Segundo DINWOODIE (1965), o aumento da média da espessura da parede e, por consequência, do volume específico, a inclusão de fibras mais curtas e a adição de cargas resulta num aumento da opacidade do papel.

A falta de uma teoria adequada que demonstre como as características das fibras estabelecem o arranjo estrutural no papel, esclarecendo melhor suas correlações com as propriedades óticas, proporciona muitos resultados divergentes na literatura. Assim, são citados a seguir trabalhos que, baseados em outros parâmetros, algumas vezes chegaram a conclusões contraditórias em relação às anteriormente apresentadas.

Segundo GIERTZ (1965), as grandes diferenças na opacidade entre vários tipos de papel são primariamente causadas pelas diferenças nas quantidades de ligação fibra-a-fibra e do número de superfícies óticas de refração e de partículas de espalhamento de luz. Assim sendo, o número, a dimensão e a forma das fibras ou de outros constituintes do papel e seus índices de refração são os fatores que determinam a quantidade de luz que será refletida, refratada e dispersa pelo papel.

Desta maneira, também são encontrados na literatura trabalhos que, além de levarem em consideração as dimensões das fibras, analisam a quantidade de fibras presentes na polpa.

KIBBLEWHITE (1973) estudando polpas produzidas a partir da madeira de *Pinus radiata*, e também UPRICHARD (1973) trabalhando com a mesma espécie e com "douglas-fir" (*Pseudotsuga menziesii*), encontraram nas polpas de madeira juvenil dessas espécies, maiores coeficientes de espalhamento de luz do que na madeira adulta; esses resultados foram justificados pelo fato dessas polpas conterem maior número de fibras por grama, e portanto, maior área superficial disponível para o espalhamento da luz.

O número de fibras por grama, além de ter influência direta sobre a formação do papel, tem importância significativa na resposta da polpa ao tratamento de refinação e influencia a conformabilidade das fibras na folha de papel (CLAUDIO-DA-SILVA, 1983).

No trabalho apresentado por UPRICHARD (1973), observou-se também que, quando levemente refinadas, as polpas da região do cerne da madeira apresentaram baixa resistência ao rasgo, mas boa resistência à tração e à energia de tensão, além de maior opacidade. O autor concluiu que a excessiva moagem dessas polpas deve ser evitada, pois as melhores qualidades das mesmas serão perdidas.

KIBBLEWHITE (1984) estudando as caracterís ticas das fibras e dos finos da madeira de cerne e alburno de *Pinus radiata*, em pastas mecânicas e termomecânicas, con cluiu que as excelentes propriedades óticas obtidas para as polpas de cerne da madeira podem estar relacionadas com os efeitos de consolidação do grande número de fibras curtas e finas e dos elementos de fibras. Assim, as folhas da polpa do cerne continham muito mais interfaces fibra-ar (ou elemen tos de fibra-ar) do que aquelas feitas com polpa de alburno.

A redução do tamanho dos elementos consti-
tuintes do papel aumenta o número de interfaces fibra-ar, des
de que esses elementos não sejam menores que $0,3\mu\text{m}$, o que os
tornariam pequenos demais para a difração da luz (CLARK, 1978).

UPRICHARD e GRAY (1972), estudando polpas
de *Pinus nigra* numa mesma densidade aparente, encontraram
que as polpas de madeira com 15 anéis de crescimento apresen-
taram maior coeficiente de espalhamento do que aquelas com
25 anéis, embora o coeficiente de espalhamento diminuisse
com o aumento da densidade aparente e da ligação entre fibras.

LÖNNBERG (1970) encontrou alta opacidade e
alto coeficiente de espalhamento de luz em polpas de madeira
de folhosas com casca de árvores de 3 a 5 anos de idade, atri
buindo esses resultados aos finos da casca e à grande quanti
dade de fibras curtas existentes nessas polpas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Os materiais utilizados constituíram - se de polpas sulfato branqueadas fornecidas pelas indústrias e produzidas em laboratório, como identificadas a seguir.

4.1.1. Polpas produzidas em laboratório

As polpas produzidas em laboratório foram obtidas a partir de madeira de *Eucalyptus grandis*, provenientes de árvores matrizes com 7 anos de idade, plantadas em Lençóis Paulista, (SP), de propriedade de Duraflora Silvicultura e Comércio Ltda.

4.1.2. Polpas sulfato branqueadas industriais.

- . Duas polpas produzidas pela Aracruz Celulose S/A, uma de *E. grandis* e uma mistura de 67% *E. urophylla* e 33% de *E. grandis*. Para facilitar a compreensão do texto, a última polpa será chamada apenas de composta.
- . Polpa de *E. globulus* produzida pela CELBI, Portugal.
- . Polpa de *E. deglupta* produzida pela Companhia Florestal Monte Dourado (JARI), Pará.
- . Polpa de betula (*Betula verrucosa*) produzida pela KAUKAS, Finlândia.
- . Polpa de gmelina (*Gmelina arborea*) produzida pela Companhia Florestal Monte Dourado (JARI), Pará.
- . Polpa de pinheiro tropical (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) produzida pela Companhia Florestal Monte Dourado (JARI), Pará.

4.2. Métodos

4.2.1. Polpas produzidas em laboratório

Foram retirados discos a diversas alturas de 20 árvores de *E. grandis* (DAP, 25%, 50% e 75% da altura comercial).

Baseado em trabalhos apresentados na literatura (BRASIL, 1976; BARRICHELO *et alii*, 1983; CARPIM *et alii*, 1985), que mostraram tendência do comprimento de fibras variar na secção transversal da madeira, foram separa-

das uma cunha de cada disco de *E. grandis*, e estas foram seccionadas em duas regiões distintas, resultando as seguintes frações:

- a. Correspondente a 40% da região próxima à medula (40% da distância medula-casca).
- b. Correspondente a 20% da região próxima à casca (20% da distância casca-medula).

Graficamente temos:

As frações correspondentes a cada região foram agrupadas e transformadas em cavacos por picagem manual e em seguida foram colocadas em cápsulas de tela de aço, que permitiram a permanência das mesmas separadas dentro do digestor durante o processo de cozimento.

O cozimento foi realizado em digestor de aço inoxidável, rotativo (2 - 3 rpm), de 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente, conforme descrito por BARRICHELO & BRITO (1979).

Utilizando-se o processo sulfato manteve-se as seguintes condições de cozimento:

a. Álcali ativo (Na_2O)	=	14%
b. Atividade	=	100%
c. Sulfidez	=	25%
d. Relação Licor-Madeira	=	4,5 (L/kg)
e. Temperatura máxima	=	170°C
f. Tempo até temperatura máxima	=	2,0h.
g. Tempo à temperatura máxima	=	0,5h.

Após o cozimento, as polpas foram desintegradas mecanicamente com desfibrador de disco e em seguida lavadas e depuradas.

Posteriormente, se procedeu ao branqueamento das polpas, realizado em quatro estágios, com a sequência CEDD, onde:

C = Cloração

E = Extração alcalina, e

D = Dioxidação

As condições pré-fixadas para cada estágio foram:

Variável	C	E	D
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	ambiente	60	70
Tempo (minutos)	15	90	180
Consistência (%)	3,5	12	12
pH	1,5-2,0	11,0-11,5	3-4

Como o interesse principal do trabalho era estudar a opacidade do papel, procurou-se obter polpas com alvuras semelhantes.

A carga total de cloro ativo variou em função do grau de deslignificação das polpas. Foi utilizado para polpa próxima à região da casca carga total de 6,5% de cloro ativo, sendo distribuído 3,5% no estágio da cloração, 2,0% na primeira dioxidação e 1,0% na segunda. A polpa de madeira da região próxima à medula por apresentar um grau de deslignificação menor que a primeira (um número Kappa superior), recebeu na primeira dioxidação 0,5% a mais de cloro, resultando numa carga total de cloro ativo de 7,0%.

Além das duas polpas obtidas a partir das frações da madeira, foram feitas quatro misturas com as mesmas, totalizando-se seis amostras produzidas em laboratório.

A composição das seis polpas é descrita a seguir:

- A. polpa da região próxima a casca
- B. 80% polpa da região da casca e 20% polpa da região da medula
- C. 60% polpa da região da casca e 40% polpa da região da medula
- D. 40% polpa da região da casca e 60% polpa da região da medula
- E. 20% polpa da região da casca e 80% polpa da região da medula
- F. polpa da região próxima à medula

4.2.2. Polpas comerciais

Com o objetivo de se obter polpas de uma mesma espécie com comprimento de fibras diferentes, foram separadas as fibras de quatro polpas comerciais, a saber: *Eucalyptus grandis*, composta, betula e pinheiro.

A separação das fibras foi realizada através do classificador "Bauer McNett", seguindo Norma SCAN-M6:69, alterando apenas o período de operação de 15 para 20 minutos; foram utilizadas peneiras de 30, 50 e 100 mesh, obtendo - se das quatro espécies as seguintes polpas:

a. R-30

Fibras retidas na peneira mesh 30

b. P-30/R-50

Fibras que passaram pela peneira 30 mesh e foram retidas na peneira de 50 mesh

c. P-50/R-100

Fibras que passaram pela peneira de 50 mesh e foram retidas na peneira de 100 mesh

d. P-100

Fibras que passaram pela peneira de 100 mesh.

As demais polpas comerciais (*E. deglupta*, *E. globulus* e *Gmelina arborea*) foram analisadas somente na forma original, sem separação das fibras.

4.2.3. Análises das propriedades das polpas

Foram analisadas as características das fibras e as propriedades físicas e químicas das polpas produzidas em laboratório, comerciais e as separadas no Bauer Mc-Nett, conforme descrito a seguir.

4.2.3.1. Medições das dimensões das fibras

Através do analisador de fibras Kajaani FS-100, obteve-se o comprimento médio ponderado das fibras, o número de fibras por grama e a percentagem de finos (o analisador pode ser programado para apresentar como finos as fibras, elementos ou pedaços de fibras que passam pela peneira de 200 mesh). O cálculo do "coarseness" foi baseado nos resultados fornecidos pelo mesmo analisador.

Para determinação das dimensões transversais das fibras, prepararam-se lâminas com fibras coloridas com safranina. As lâminas foram levadas ao microscópio ótico e com auxílio de ocular micrométrica, mediu-se na metade do comprimento das fibras, os diâmetros externos e internos, a partir dos quais se calculou a espessura da parede celular. Foram medidas aproximadamente 50 fibras de cada polpa.

4.2.3.2. Preparo das folhas

A formação e a preparação das folhas para testes foram de acordo com as Normas SCAN-C26:76, SCAN-M5:76.

As condições de condicionamento obedeceram Norma SCAN-P2:75.

4.2.3.3. Propriedades Óticas

a. Opacidade (Norma SCAN-P 8:75)

b. Coeficiente de Espalhamento de Luz (Norma SCAN-C 27:69)

OBS.: O coeficiente de absorção foi calculado através da equação de Kubelka e Munk, que é descrita a seguir:

$$k/s = [1 - R_{\infty}]^2 / 2R_{\infty}$$

onde:

k = coeficiente de absorção de luz

s = coeficiente de espalhamento de luz

R_{∞} = reflectância de um bloco de papel espesso o suficiente para ser opaco.

4.2.3.4. Propriedades físico-mecânicas

a. Densidade aparente do papel

(Norma SCAN-P 7:75)

b. Resistência ao ar Gurley

(Norma SCAN-P 19:66)

c. Resistência à tração

(Norma SCAN-P 44:81)

d. Resistência ao estouro

(Norma SCAN-P 25:68)

e. Resistência ao rasgo

(Norma SCAN-P 11:73)

4.2.3.5. Propriedades químicas

a. Teor de pentosanas (TAPPI-T 233 ts-63)

b. Teor de extrativos em etanol-tolueno e em diclorometano

(TAPPI-T 204 os-76) (utilizando o tolueno em substituição ao benzeno, segundo recomendação de GOETZLER, 1982).

c. Teor de cinzas (TAPPI-T 211 m 58).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades Óticas

5.1.1. Propriedades das polpas comerciais de *E. grandis* e composta

Na análise de polpas celulósicas, normalmente o estudo da densidade básica da madeira, da composição química e das características anatômicas dessas polpas costumam responder pela maioria de suas propriedades. Entretanto, em alguns casos, certos fenômenos, à primeira vista, não podem ser facilmente compreendidos baseados apenas nos parâmetros normalmente utilizados.

Os resultados da análise das propriedades das polpas de *E. grandis* e composta, apresentados na Tabela 1, constituem um bom exemplo desses casos.

Tabela 1 - Propriedades das polpas não refinadas de *E. grandis* e composta.

Propriedade	<i>E. grandis</i>	composta
densidade aparente (kg/m ³)	574 $\pm$ 2*	533 $\pm$ 1
índice de tração (kNm/kg)	28,6 $\pm$ 0,5	21,9 $\pm$ 0,5
índice de rasgo (Nm ² /kg)	5,8 $\pm$ 0,4	4,7 $\pm$ 0,2
resistência ao ar Gurley (s/100 ml)	2,57 $\pm$ 0,07	1,31 $\pm$ 0,06
coeficiente de espalhamento de luz (m ² /kg)	44,4 $\pm$ 0,4	40,6 $\pm$ 0,3
opacidade (%)	79,1 $\pm$ 0,2	77,3 $\pm$ 0,2

* intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade.

Nota-se de modo geral, que as propriedades da polpa de *E. grandis* apresentaram valores superiores aos da polpa composta. Os maiores resultados da densidade aparente, dos índices de tração e rasgo e da resistência ao ar da polpa de *E. grandis* indicam que, mesmo antes de um tratamento mecânico, suas fibras se ajustam e conformam melhor na estrutura do papel, ou seja, o papel apresenta uma estrutura mais consolidada do que a polpa composta, o que sugere maior flexibilidade das fibras de *E. grandis*.

De certo modo, estes resultados poderiam ser esperados, pois a madeira de *E. grandis* apresenta densidade básica de 480 kg/m³, enquanto o *E. urophylla* possui den

sidade em torno de 530 kg/m^3 *. A maior densidade básica da madeira é, geralmente em eucaliptos, decorrente de maiores proporções de fibras com parede mais espessas, conseqüentemente mais rígidas, apresentando menor conformabilidade. Assim sendo, as propriedades de resistência que dependem da interligação entre fibras são prejudicadas em relação àquelas polpas com fibras de paredes mais finas e flexíveis (COLLEY, 1973).

Um exemplo disso pode ser observado na Figura 1, onde são mostrados dois cortes transversais de papel produzidos a partir de madeira de alta e baixa densidade de híbridos naturais de *E. grandis*. Nota-se que a estrutura do papel a partir da madeira menos densa (449 kg/m^3) é bem mais consolidada, com fibras fortemente ligadas, enquanto as espessas paredes das fibras do papel produzido com madeira de alta densidade (608 kg/m^3), apresenta maiores espaços entre fibras, proporcionando uma estrutura mais aberta, com volume específico aparente bem maior.

* (Dados fornecidos pelo Centro de Pesquisas e Tecnologia da Aracruz Celulose S.A.).

1A. densidade básica de 449 kg/m³ (ampliação 400X)

1B. densidade básica de 608 kg/m³ (ampliação 400X)

Figura 1 - Fotos de cortes transversais do papel produzidos a partir de madeira de *E. grandis* de baixa e alta densidade básica (fotos cedidas pelo Centro de Pesquisas e Tecnologia da Aracruz Celulose S.A.).

Neste contexto, foi de certo modo surpreendente observar que o coeficiente de espalhamento e a opacidade da polpa composta também mostraram menores valores do que a polpa de *E. grandis*. Isto porque era de se esperar que papéis com estruturas mais consolidadas e compactas fossem também mais transparentes, devido à menor refração da luz, conseqüente de menos interfaces fibra-ar.

Novamente a Figura 1 exemplifica bem este conceito, onde o papel feito a partir de madeira de baixa densidade apresenta um coeficiente de espalhamento de 40,9 m²/kg, enquanto da madeira mais densa o coeficiente de espalhamento de luz do papel é de 45,8 m²/kg, pois este apresenta uma estrutura mais aberta, com mais espaços entre fibras, proporcionando um maior espalhamento da luz.

O espalhamento da luz num corpo óticamente heterogêneo como o papel depende das suas superfícies de refração de luz. Utilizando uma figura esquemática, reproduzida neste trabalho na Figura 2, GIERTZ (1965) expõe que no papel a luz incidente, mesmo se orientada, irá incidir nos vários elementos de superfície em todos os ângulos possíveis e se espalhará difusamente no interior do corpo ótico. Em cada superfície ótica a luz incidente se divide, sendo uma porção mínima refletida (cerca de 5%) e uma parte maior refratada, penetrando mais ainda. Após repetidas reflexões e refrações, parte da luz incidente irá retornar à superfície original e

deixará o corpo, enquanto outra parte irá passar através deste e sairá pelo lado oposto.

Desse modo, quanto mais superfícies óticas de refração estiverem presentes no papel, mais fácil será para a luz incidente ser refratada de volta à superfície original e menor será a luz que irá alcançar o lado oposto, saindo como luz transmitida.

Figura 2 - Representação esquemática do espalhamento da luz num corpo com partículas de formas irregulares (GIERTZ, 1965).

Baseado nesta descrição, hoje amplamente difundida e aceita, a qual destaca a importância da quantidade de superfícies óticas de refração quando a luz atravessa uma folha de papel, pode-se também analisar a propriedade de opacidade do papel em termos de outro parâmetro importante

da polpa, ou seja, o número de fibras por grama, o qual tem recentemente despertado grande interesse.

A análise desta propriedade indicou, como é observado na Tabela 2, que o *E. grandis* apresenta um número de fibras por grama bastante superior à polpa composta. Com maior número de partículas, a luz pode sofrer mais refrações e reflexões, pois é obrigada a atravessar mais interfaces fibra-ar, o que aumenta a sua dispersão. Neste caso, o coeficiente de espalhamento e a opacidade do papel poderiam também aumentar, apesar da maior consolidação da folha de *E. grandis*. Esta foi uma hipótese extensivamente testada neste estudo.

Tabela 2 - Características anatômicas das polpas de *E. grandis* e composta (determinados pelo analisador de fibras Kajaani FS-100).

Polpa	<i>E. grandis</i>	Composta
comprimento médio de fibra (mm)	0,65	0,68
número de fibras/g (milhões)	23,6	18,9
"coarseness" (mg/100m)	7,9	9,5

Resultados interessantes foram apresentados por CLAUDIO-DA-SILVA (1981) ao analisar polpas de *E.*

grandis e *E. rostrata*, que possuíam diferentes números de fibras por grama. A primeira polpa apresentou 14,7 milhões de fibras por grama e a polpa de *E. rostrata* possuía 18,5 milhões (medições baseadas em outro tipo de técnica). A Figura 3 mostra o corte transversal do papel dessas duas polpas. Nota-se que a folha do papel de *E. rostrata*, devido ao maior número de fibras, apresenta muito mais interfaces fibra-ar, o que levou a maior difração da luz, e conseqüentemente, o coeficiente de espalhamento da polpa de *E. rostrata* foi de 52,0 m²/kg, enquanto para o *E. grandis* foi de 48,6 m²/kg.

3A . *E. grandis*

3B . *E. rostrata*

Figura 3 - Cortes transversais de papel (ampliação 400X)
(CLAUDIO-DA-SILVA, 1981)

Dessa maneira, as propostas anteriores somente baseadas em aspectos relativos à flexibilidade de fibras e consolidação do papel, não foram satisfatórias para explicar o comportamento das polpas de *E. grandis* e composta em relação ao coeficiente de espalhamento e à opacidade. Como o número de fibras por grama parece ser também um parâmetro importante para o arranjo estrutural das fibras no papel, este foi extensamente analisado neste trabalho, dentre os vários parâmetros anatômicos. Foram estudados diversos tipos de polpas e suas propriedades, sendo que maior ênfase foi dada às propriedades de espalhamento de luz e opacidade do papel.

5.1.2. Polpas separadas pelo classificador de fibras "Bauer McNett"

Com interesse de buscar uma avaliação mais abrangente das influências das características das fibras nas propriedades do papel, as polpas de *E. grandis* e composta foram separadas pelo classificador de fibras "Bauer McNett", afim de se obter, para a mesma espécie, frações das polpas com características morfológicas diferentes.

Foram classificadas também pelo "Bauer McNett", polpas de betula e de pinheiro, que possuem características de fibras bem distintas das polpas de eucalipto.

Desse modo, a discussão da influência das características das fibras abrange uma ampla faixa de variáveis anatômicas como pode ser observado nas Tabelas 3 a 5.

Tabela 3 - Comprimento médio de fibra (mm) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	0,82*	0,82	1,04	3,02
P-30/R-50	0,68	0,75	0,87	1,43
P-50/R-100	0,60	0,60	0,66	0,91
P-100	0,45	0,44	0,54	0,58

* repetições não exibem diferenças significativas a nível de 95% de probabilidade

Tabela 4 - Diâmetro da fibra (μ m) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	22,02 $\pm$ 0,52*	21,19 $\pm$ 0,94	32,77 $\pm$ 1,41	49,13 $\pm$ 2,25
P-30/R-50	21,37 $\pm$ 0,62	20,56 $\pm$ 0,85	31,19 $\pm$ 1,26	50,68 $\pm$ 2,43
P-50/R-100	20,30 $\pm$ 0,83	20,07 $\pm$ 0,71	29,29 $\pm$ 1,42	49,32 $\pm$ 2,50
P-100	19,34 $\pm$ 1,09	21,00 $\pm$ 1,33	29,20 $\pm$ 1,43	47,10 $\pm$ 2,34

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 5 - Espessura da parede celular (μm) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	$5,67 \pm 0,23^*$	$5,81 \pm 0,30$	$6,83 \pm 0,46$	$9,82 \pm 0,57$
P-30/R-50	$5,49 \pm 0,13$	$5,41 \pm 0,29$	$6,40 \pm 0,34$	$8,44 \pm 0,60$
P-50/R-100	$4,94 \pm 0,28$	$5,14 \pm 0,33$	$5,88 \pm 0,31$	$7,70 \pm 0,60$
P-100	$4,88 \pm 0,27$	$5,46 \pm 0,28$	$6,04 \pm 0,34$	$7,47 \pm 0,63$

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Como é conhecido, o classificador "Bauer McNett" separa as fibras pelo seu comprimento. Assim, os resultados da Tabela 3 apresentam as polpas das quatro espécies estudadas, separadas em quatro frações distintas de comprimento de fibra, mostrando-se decrescentes de R-30 para P-100.

Conforme descrito anteriormente no capítulo 4.2.3.1., o comprimento médio de fibras foi determinado no analisador de fibras Kajaani. Este aparelho mede todos os elementos constituintes da polpa (excetuando-se os finos); por isso geralmente se obtém valores menores do que os determinados por processos tradicionais de projeção, onde somente as fibras inteiras são analisadas. O resultado do comprimento médio de fibras é fornecido pelo próprio aparelho, calculado através da média ponderada por classe de comprimento.

O diâmetro e a espessura da parede das fibras também apresentaram tendência de decrescer da polpa R-30 para P-100, acompanhando o comprimento de fibras.

Cabe ressaltar, que as medidas do diâmetro e da espessura de fibras apresentadas neste trabalho foram feitas no ponto central das fibras das polpas, medidas diretamente no microscópio com auxílio da ocular micrométrica. Por isso apresentam valores bem maiores dos trabalhos normalmente encontrados na literatura, que utilizam métodos alternativos para a determinação dessas dimensões. Desta maneira, esses valores serão utilizados somente para comparação entre as polpas deste trabalho, não sendo necessariamente representativos das espécies estudadas.

As demais características das fibras das polpas estudadas, o número de fibras por grama e "coarseness" são apresentados nas Tabelas 6 e 7. O número de fibras por grama mostrou-se crescente das frações R-30 para P-100. Como se trata de um parâmetro que reflete a quantidade de fibras por unidade de peso, é natural que com a diminuição das dimensões das fibras (comprimento, diâmetro e espessura da parede) o número de fibras por grama aumentasse. Isto teve grande reflexo nas propriedades dessas polpas, conforme será discutido mais à frente.

Tabela 6 - Número de fibras por grama (milhões) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	15,4*	12,9	8,5	1,2
P-30/R-50	20,4	15,6	13,9	3,4
P-50/R-100	26,6	23,3	21,1	6,9
P-100	30,1	26,5	25,6	10,9

* repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade

O "coarseness" representa o peso (mg) de 100 m de fibras (alinhadas). Este parâmetro é dependente do diâmetro, da espessura da parede e da densidade do material das fibras (CLARK, 1978); portanto o aumento dessas dimensões das fibras deve provocar maior peso por unidade de comprimento, ou seja, maior "coarseness".

Tabela 7 - "Coarseness" (mg/100m) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	9,1*	10,3	12,6	34,8
P-30/R-50	8,3	9,5	9,2	24,3
P-50/R-100	7,5	8,3	8,5	20,2
P-100	11,4	11,9	9,8	26,7

* repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade

Dessa maneira, é fácil se entender a diminuição do "coarseness" da polpa R-30 para R-100, uma vez que as dimensões das fibras também diminuíram neste sentido. Porém, as frações P-100 das quatro espécies estudadas apresentaram elevação no valor do "coarseness", sendo que para betula e pinheiro o "coarseness" dessas frações só não superaram as frações R-30. Uma das prováveis explicações para o fato pode estar no alto teor de cinzas das frações P-100 (Tabela 25, apresentada no Apêndice).

Nas Tabelas 8 a 10 são apresentados os resultados das propriedades óticas das polpas separadas no "Bauer McNett".

Tabela 8 - Coeficiente de espalhamento de luz (m^2/kg) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	$39,5 \pm 0,6^*$	$34,9 \pm 0,4$	$34,2 \pm 0,6$	$28,5 \pm 0,6$
P-30/R-50	$41,7 \pm 0,6$	$36,3 \pm 0,7$	$38,0 \pm 0,5$	$35,1 \pm 0,6$
P-50/R-100	$45,4 \pm 0,4$	$41,1 \pm 0,5$	$43,1 \pm 0,3$	$39,1 \pm 0,3$
P-100	$48,6 \pm 0,3$	$45,4 \pm 0,5$	$48,7 \pm 0,4$	$41,6 \pm 0,8$

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 9 - Opacidade (%) das polpas separadas no "Bauer Mc-Nett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	77,4 $\pm$ 0,3*	75,7 $\pm$ 0,2	75,9 $\pm$ 0,2	70,5 $\pm$ 0,3
P-30/R-50	78,8 $\pm$ 0,3	76,1 $\pm$ 0,4	77,4 $\pm$ 0,2	76,1 $\pm$ 0,1
P-50/R-100	80,8 $\pm$ 0,2	79,6 $\pm$ 0,3	80,9 $\pm$ 0,2	79,6 $\pm$ 0,2
P-100	87,1 $\pm$ 0,1	85,8 $\pm$ 0,2	89,3 $\pm$ 0,1	91,2 $\pm$ 0,6

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 10 - Coeficiente de absorção de luz (m²/kg) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	0,14*	0,18	0,20	0,15
P-30/R-50	0,14	0,14	0,18	0,22
P-50/R-100	0,16	0,19	0,21	0,29
P-100	0,71	0,68	0,68	1,61

* repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade

Observa-se que o coeficiente de espalhamento de luz e consequentemente a opacidade, aumentaram partindo-se da polpa R-30 para P-100, nos quatro casos estudados.

Neste sentido também se aumentou o número de fibras por grama; com acréscimo de mais elementos às polpas gerou-se mais espaços intercelulares e interfaces fibra-ar nas folhas de papel. Como o espalhamento da luz ocorre nas interfaces de dois materiais com diferentes índices de refração (NORDMAN, 1970), o maior número de espaços inter-celulares forçou a luz a atravessar mais interfaces fibra-ar, aumentando assim a sua dispersão.

Outro parâmetro que deve ser lembrado é a área de superfície das fibras, uma vez que o coeficiente de espalhamento é função linear da superfície por unidade de massa do papel (CASEY, 1960), e um alto coeficiente de espalhamento pode ser esperado das fibras com grande área de exposição em relação ao seu peso (NORDMAN, 1970). Assim, o maior número de elementos aumentou a área superficial interna das folhas, favorecendo o espalhamento da luz.

Outros processos, como o refino, também produzem maior área de exposição das fibras, mas a área de contato e ligação entre fibras também aumenta, devido à maior flexibilização (um dos principais efeitos do refino), o que vem a reduzir a opacidade. Consequentemente, os resultados apresentados na literatura após tratamento de refino das polpas, mostram o aumento da densidade aparente do papel, com a diminuição da opacidade, como resultado do aumento das ligações entre fibras.

Portanto, o aumento do número de fibras por grama deve ter sido essencial para elevar o coeficiente de espalhamento de luz e a opacidade, pois forneceu maior número de interfaces fibra-ar e aumentou a área de exposição das partículas que compõem o papel e que não estão em contato mecânico.

5.1.3. Polpas produzidas em laboratório

O mesmo comportamento observado nas polpas separadas pelo "Bauer McNett" foi encontrado nos testes realizados em polpas especiais produzidas em laboratório. Foram analisadas misturas de polpas de diversos comprimentos de fibras, produzidas a partir de madeira de *E. grandis* da região próxima à medula e próxima à casca.

Tabela 11 - Características anatômicas das fibras de polpas de *E. grandis* produzidas em laboratório.

AVOSTIPAS	Comprimento médio de fibras (mm)	Largura das fibras (µm)	Espessura da parede (µm)	Nº de fibras/ grama (milhões)	"Coarseness" (mg/100m)	Fibras (%)
A	0,85**	20,37 ± 0,95*	5,02 ± 0,27*	16,7**	8,0**	1,65**
B	0,79	20,69 ± 0,99	4,86 ± 0,22	19,9	7,5	1,76
C	0,74	19,97 ± 1,11	4,81 ± 0,26	21,6	7,6	2,25
D	0,68	19,76 ± 0,90	4,69 ± 0,22	25,4	6,9	2,47
E	0,64	20,03 ± 1,01	4,76 ± 0,21	27,2	6,8	2,43
F	0,55	17,58 ± 0,70	4,34 ± 0,18	28,6	7,6	3,48

A = polpa da região próxima à casca

B = 80% polpa da região da casca e 20% polpa da região da medula

C = 60% polpa da região da casca e 40% polpa da região da medula

D = 40% polpa da região da casca e 60% polpa da região da medula

E = 20% polpa da região da casca e 80% polpa da região da medula

F = polpa da região próxima à medula

* = intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

** = repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade

Tabela 12 - Propriedades óticas das polpas produzidas em laboratório de *E. grandis*.

AMOSTRAS	Coeficiente de espalhamento de luz (m^2/kg)	Coeficiente de absorção de luz (m^2/kg)	Opacidade (%)
A	$38,5 \pm 0,5^*$	$0,21^{**}$	$78,4 \pm 0,3^*$
B	$39,1 \pm 0,4$	$0,22$	$79,3 \pm 0,2$
C	$41,4 \pm 0,3$	$0,23$	$80,0 \pm 0,1$
D	$42,7 \pm 0,6$	$0,23$	$80,5 \pm 0,1$
E	$44,0 \pm 0,3$	$0,25$	$81,0 \pm 0,1$
F	$45,1 \pm 0,2$	$0,25$	$81,5 \pm 0,1$

A = polpa da região próxima à casca

B = 80% polpa da região da casca e 20% polpa da região da medula

C = 60% polpa da região da casca e 40% polpa da região da medula

D = 40% polpa da região da casca e 60% polpa da região da medula

E = 20% polpa da região da casca e 80% polpa da região da medula

F = polpa da região próxima a medula

* = intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

** = repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade

À medida que se aumentou a proporção de polpa da medula, acrescentando fibras mais curtas à polpa, o número de fibras por grama e a percentagem de finos primários (que acompanham a polpa antes do tratamento mecânico de refino) aumentaram, como pode ser observado na Tabela 11, o que proporcionou mais partículas à constituição das folhas de papel, gerando mais interfaces fibra-ar. Como consequência, o coeficiente de espalhamento e a opacidade (Tabela 12) aumentaram, pois a ação de difusão da luz pelas partículas (fibras ou elementos de fibra) aumenta com o número de suas interfaces com o ar.

Resultados semelhantes foram apresentados por UPRICHARD (1973), encontrando para as polpas de madeira juvenil maior coeficiente de espalhamento comparadas às de madeira adulta de *Pinus radiata* e *Pseudotsuga menziesii*. Concluiu que as primeiras possuem fibras de paredes mais finas e as folhas de papel contêm maior número de fibras por unidade de área (ou de massa); assim as polpas de madeira juvenil têm mais superfícies disponíveis para o espalhamento da luz.

Portanto, as adições proporcionais de polpa da medula, que apresentam fibras mais curtas e finas, forneceram maior número de fibras por grama, resultando num acréscimo de partículas, o que gerou maior número de interfaces fibras-ar, aumentando o espalhamento da luz e a opacidade do papel.

5.1.4. Polpas comerciais

Com objetivo de confirmar o fenômeno observado nas polpas estudadas anteriormente, foram também analisadas diversas polpas comerciais com características anatômicas bem distintas, relacionando-as com as propriedades óticas do papel.

Tabela 13 - Características anatômicas de fibras das polpas comerciais.

POLPAS	Comprimento médio de fibras (mm)	Largura da fibra (µm)	Espessura da parede (µm)	"Coarseness" (mg/100 m)	Nº de fibras/g milhões	Finos (%)
<i>E. grandis</i>	0,65**	20,66 ± 0,93*	5,06 ± 0,49*	7,9**	23,3**	4,6
Composta	0,68	20,92 ± 1,02	5,33 ± 0,29	9,9	17,8	4,0
<i>E. globulus</i>	0,69	23,02 ± 1,08	5,76 ± 0,27	8,6	19,8	3,6
<i>E. deglupta</i>	0,63	23,19 ± 1,19	4,90 ± 0,20	8,3	22,9	4,9
<i>Betula verrucosa</i>	0,81	27,80 ± 1,43	5,87 ± 0,15	9,6	15,5	4,2
<i>Gmelina arborea</i>	0,77	29,38 ± 1,46	5,86 ± 0,33	11,1	14,4	5,2
Pinheiro	2,64	50,28 ± 3,08	8,91 ± 1,15	29,3	2,2	5,1

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

** repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade.

Nota-se através da Tabela 13, que as polpas de eucaliptos exibiram os maiores números de fibras por grama, já que as fibras de eucalipto são mais curtas e finas, enquanto a polpa de pinheiros possui comprimento de fibra e espessura de parede superiores às demais, o que também gera maior peso por unidade de comprimento, e portanto, maior "coarseness".

Em relação às propriedades óticas, apresentadas na Tabela 14, verifica-se que entre as quatro espécies que mostraram maior opacidade (*E. deglupta*, *Gmelina arborea*, *E. grandis* e *E. globulus*) encontram-se as três espécies que também apresentaram maior número de fibras por grama (*E. grandis*, *E. deglupta*, *E. globulus*), comprovando a influência deste parâmetro nas propriedades óticas do papel.

Tabela 14 - Propriedades óticas das polpas comerciais.

POLPAS	Coefficiente de espalhamento de luz (m ² /kg)	Coefficiente de absorção de luz (m ² /kg)	Opacidade (%)
<i>E. grandis</i>	44,4 [±] 0,4*	0,12**	79,1 [±] 0,2*
Composta	40,6 [±] 0,3	0,11	77,3 [±] 0,2
<i>E. globulus</i>	43,2 [±] 0,2	0,13	79,0 [±] 0,2
<i>E. deglupta</i>	48,7 [±] 0,1	0,16	82,3 [±] 0,1
<i>Betula verrucosa</i>	41,5 [±] 0,6	0,14	78,5 [±] 0,2
<i>Gmelina arborea</i>	46,6 [±] 0,5	0,18	81,7 [±] 0,1
Pinheiro	30,6 [±] 0,2	0,11	71,6 [±] 0,2

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade.

** repetições não exibem diferenças significativas à nível de 95% de probabilidade.

É interessante observar os resultados da polpa de *Gmelina arborea*, pois essa polpa apresentou baixo número de fibras por grama, comparando com as demais espécies, mas o coeficiente de espalhamento da luz e a opacidade só foram inferiores a polpa de *E. deglupta*, que apresentou o segundo maior número de fibras. No entanto, nota-se que a polpa de *gmelina* possui elevada percentagem de finos, e o maior número desses pequenos elementos certamente deve ter aumentado o espalhamento de luz. Além disso, o elevado conteúdo de extrativos dessa polpa (Tabela 28, apresentada no Apêndice), aumentou o coeficiente de absorção de luz, e conseqüentemente, a opacidade.

A partir dos resultados que foram obtidos para os diversos tipos de polpa estudadas, foi de interesse verificar estatisticamente o nível de correlação existente entre as propriedades de espalhamento de luz e de opacidade do papel e as características anatômicas das fibras.

5.1.5. Análise de regressão linear

Pela análise estatística, apresentada na Tabela 15, ficou demonstrado que existe correlação significativa entre número de fibras por grama e as propriedades óticas do papel (coeficiente de espalhamento de luz e opacidade), através dos valores obtidos para os coeficientes de

correlação linear entre as variáveis. Estas correlações também podem ser observadas nos Gráficos 1 e 2.

Tabela 15 - Regressões lineares obtida entre o número de fibras por grama (x) e o coeficiente de espalhamento de luz e opacidade (y) das polpas estudadas (modelo: $y = a + bx$).

Polpas	Coef. Espalhamento Luz		Opacidade
Separadas no "Bauer McNett"	a	31,11	73,91
	b	0,55	0,38
	r	0,88**	0,60**
Produzidas em Laboratório	a	28,70	74,43
	b	0,56	0,24
	r	0,98**	0,99**
Comerciais	a	30,73	72,06
	b	0,69	0,39
	r	0,85**	0,79**

y = variável independente

x = variável dependente

a = coeficiente linear

b = coeficiente angular

r = coeficiente de correlação linear

** = valores significativos à nível de 95% de probabilidade

GRÁFICO 1. Coeficiente de espalhamento de luz x número de fibras/g.

GRÁFICO 2: Opacidade x número de fibras/g.

A identificação das polpas é feita a

seguir:

01. A (região próximo à casca)
02. B (80% região da casca e 20% região da medula)
03. C (60% região da casca e 40% região da medula)
04. D (40% região da casca e 60% região da medula)
05. E (20% região da casca e 80% região da medula)
06. F (região próxima à medula)
07. *E. globulus*
08. *E. deglupta*
09. *Gmelina arborea*
10. *E. grandis* (original)
11. *E. grandis* (R-30)
12. *E. grandis* (P-30/R-50)
13. *E. grandis* (P-50/R-100)
14. *E. grandis* (P-100)
15. Composta (original)
16. Composta (R-30)
17. Composta (P-30/R-50)
18. Composta (P-50/R-100)
19. Composta (P-100)
20. *Betula verrucosa* (original)
21. *Betula verrucosa* (R-30)
22. *Betula verrucosa* (P-30/R-50)
23. *Betula verrucosa* (P-50/R-100)
24. *Betula verrucosa* (P-100)
25. Pinheiro (original)
26. Pinheiro (R-30)
27. Pinheiro (P-30/R-50)
28. Pinheiro (P-50/R-100)
29. Pinheiro (P-100)

No Gráfico 2, pode-se notar também que quatro polpas, referentes as frações P-100 de *E. grandis*, composta, pinheiro e betula possuem opacidades muito superiores às das demais polpas, o que pode ser explicado pelo alto coeficiente de absorção dessas polpas, causado provavelmente pelos altos teores de extrativos em etanol-tolueno e dicloro-metano (Tabelas 26 e 27 do Apêndice).

Dessa maneira, os resultados das correlações lineares comprovam a importância do número de fibras por grama para diversos tipos de polpas estudadas, desde aquelas produzidas com diferentes comprimento de fibras (separadas pelo "Bauer McNett" ou geradas a partir de regiões diferentes da madeira de uma mesma árvore), como para as polpas comerciais de várias espécies, abrangendo uma ampla faixa de características anatômicas.

5.2. Propriedades físico-mecânicas

Para complementação do estudo das influências das características anatômicas sobre as propriedades do papel, foram avaliadas também as propriedades físico-mecânicas das polpas analisadas anteriormente.

De maneira geral, nota-se para as polpas classificadas pelo "Bauer McNett", que as propriedades apresentadas nas Tabelas 16 a 19, tenderam a aumentar a partir da fração R-30 para P-100. Comportamento semelhante foi encontrado para as polpas produzidas em laboratório, quando se aumentou a proporção de polpa da região da madeira mais próxima à medula (Tabela 20).

Estas propriedades, dependentes do grau de interligação das fibras, como densidade aparente e os índices de tração e estouro, demonstraram incrementos com a redução do comprimento das fibras, provavelmente devido ao fato que também aumentaram neste sentido o número de fibras por grama. Assim, as polpas com mais fibras produziram papéis com maior número de ligações entre fibras e com estrutura mais consolidada.

Tabela 16 - Densidade aparente (kg/m^3) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	$516 \pm 3^*$	476 ± 3	591 ± 2	452 ± 2
P-30/R-50	535 ± 3	489 ± 2	603 ± 2	547 ± 3
P-50/R-100	554 ± 3	528 ± 2	628 ± 1	547 ± 2
P-100	695 ± 5	653 ± 3	660 ± 2	688 ± 4

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 17 - Índice de tração (Nm/g) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	$18,0 \pm 0,5^*$	$13,6 \pm 0,3$	$19,8 \pm 0,4$	$6,7 \pm 0,5$
P-30/R-50	$18,5 \pm 0,4$	$13,4 \pm 0,2$	$18,6 \pm 0,4$	$13,2 \pm 0,4$
P-50/R-100	$20,5 \pm 0,5$	$16,4 \pm 0,3$	$21,0 \pm 0,5$	$14,8 \pm 0,6$
P-100	$35,6 \pm 0,8$	$33,0 \pm 0,6$	$29,6 \pm 0,6$	$31,0 \pm 0,6$

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 18 - Índice de estouro (kPa m²/g) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	0,79±0,03*	0,52±0,05	0,81±0,02	0,28±0,04
P-30/R-50	0,79±0,02	0,49±0,02	0,77±0,02	0,72±0,02
P-50/R-100	0,93±0,03	0,64±0,03	1,01±0,03	0,79±0,03
P-100	2,12±0,05	1,88±0,05	1,47±0,03	1,55±0,02

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 19 - Índice de rasgo (Nm²/kg) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	3,7±0,2*	2,9±0,2	4,6±0,2	5,3±0,3
P-30/R-50	3,3±0,1	2,4±0,1	3,1±0,2	5,5±0,4
P-50/R-100	3,2±0,2	2,5±0,2	3,1±0,4	4,2±0,2
P-100	6,1±0,1	5,5±0,4	3,7±0,2	4,3±0,1

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Tabela 20 - Propriedades físico-mecânicas das polpas produzidas em laboratório.

AMOSTRAS	Densidade aparen- te (kg/m^3)	Índice de ras- go (Nm^2/kg)	Índice de tra- ção (Nm/g)	Índice de es- touro (kPam^2/g)	Resistência ao ar Gurley ($\text{s}/100 \text{ ml}$)
A	574 ± 4 *	$6,6 \pm 0,4$	$35,9 \pm 1,0$	$1,81 \pm 0,06$	$1,03 \pm 0,35$
B	594 ± 3	$6,2 \pm 0,7$	$39,7 \pm 1,2$	$2,10 \pm 0,08$	$1,43 \pm 0,08$
C	615 ± 5	$6,6 \pm 0,3$	$40,6 \pm 0,8$	$2,10 \pm 0,06$	$2,16 \pm 0,07$
D	630 ± 5	$6,5 \pm 0,5$	$42,8 \pm 2,3$	$2,31 \pm 0,14$	$2,63 \pm 0,06$
E	662 ± 3	$8,0 \pm 0,4$	$43,3 \pm 0,7$	$2,37 \pm 0,06$	$3,84 \pm 0,07$
F	688 ± 4	$7,6 \pm 0,2$	$44,8 \pm 1,5$	$2,63 \pm 0,08$	$5,49 \pm 0,16$

A = polpa da região próxima à casca

B = 80% polpa da região da casca e 20% polpa da região da medula

C = 60% polpa da região da casca e 40% polpa da região da medula

D = 40% polpa da região da casca e 60% polpa da região da medula

E = 20% polpa da região da casca e 80% polpa da região da medula

F = polpa da região próxima à medula

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

No entanto, as frações P-100 das quatro espécies estudadas, mostraram valores muito superiores aos das demais frações para maioria das propriedades físicas estudadas, o que provavelmente se deve ao seu alto teor de finos que acompanham essas frações, em função da classificação que as fibras sofreram pelo "Bauer McNett", que levaram os finos a se concentrar na última fração. Resultados semelhantes foram apresentados por HTUN & RUVO (1978), estudando polpa Kraft branqueada e classificada em cinco peneiras pelo "Bauer McNett", encontrando nas folhas produzidas a partir de polpas de finos (fração que passou pela peneira de 200 mesh) propriedades mecânicas comparáveis às folhas feitas com a polpa original (sem separação das fibras). Esses autores concluíram que os finos possuem alta dilatação (inchamento) o que possibilita adaptarem-se à estrutura e contribuir para uniforme distribuição das forças no papel, obtendo-se um produto mais forte e uniforme.

Em relação as polpas comerciais, essas propriedades também parecem ter sido beneficiadas pelo aumento do número de fibras por grama, uma vez que os maiores índices de tração e estouro foram obtidos pelo *E. deglupta* e *E. grandis*, (Tabela 21), sendo essas as espécies com maior número de fibras por grama.

A tendência geral foi de aumento dos índices de tração e estouro com maior número de fibras por grama, como pode ser verificado pelos Gráficos 3 e 4.

Tabela 21 - Propriedades físico-mecânicas das polpas comerciais.

POLPAS	Densidade aparente (kg/m ³)	Índice de tração (Nm/g)	Índice de estouro (kPam ² /g)	Índice de rasgo (Nm ² /kg)	Resistência ao ar Orley (seg/100 mL)
<i>E. grandis</i>	574 ± 2*	28,6 ± 0,5	1,53 ± 0,05	5,8 ± 0,4	2,57 ± 0,07
Composta	533 ± 1	21,9 ± 0,6	1,05 ± 0,03	4,7 ± 0,2	1,31 ± 0,06
<i>E. globulus</i>	488 ± 2	14,0 ± 0,4	0,56 ± 0,03	2,4 ± 0,2	0,52 ± 0,05
<i>E. deglupta</i>	636 ± 2	33,7 ± 0,5	1,86 ± 0,06	6,1 ± 0,4	7,76 ± 0,20
<i>Betula verrucosa</i>	589 ± 2	21,2 ± 0,4	0,95 ± 0,02	4,2 ± 0,2	2,00 ± 0,10
<i>Gmelina arborea</i>	594 ± 1	18,9 ± 0,3	0,94 ± 0,03	3,9 ± 0,2	4,00 ± 0,10
Pinheiro	490 ± 2	14,7 ± 0,3	0,89 ± 0,04	11,7 ± 0,7	0,40 ± 0,01

* Intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade.

GRÁFICO 3: Índice de tração x número de fibras/g.

NÚMERO DE FIBRAS/g

GRÁFICO 4: Índice de estouro x número de fibras/g.

A identificação das polpas é feita a

seguir:

01. A (região próximo à casca)
02. B (80% região da casca e 20% região da medula)
03. C (60% região da casca e 40% região da medula)
04. D (40% região da casca e 60% região da medula)
05. E (20% região da casca e 80% região da medula)
06. F (região próxima à medula)
07. *E. globulus*
08. *E. deglupta*
09. *Gmelina arborea*
10. *E. grandis* (original)
11. *E. grandis* (R-30)
12. *E. grandis* (P-30/R-50)
13. *E. grandis* (P-50/R-100)
14. *E. grandis* (P-100)
15. Composta (original)
16. Composta (R-30)
17. Composta (P-30/R-50)
18. Composta (P-50/R-100)
19. Composta (P-100)
20. *Betula verrucosa* (original)
21. *Betula verrucosa* (R-30)
22. *Betula verrucosa* (P-30/R-50)
23. *Betula verrucosa* (P-50/R-100)
24. *Betula verrucosa* (P-100)
25. Pinheiro (original)
26. Pinheiro (R-30)
27. Pinheiro (P-30/R-50)
28. Pinheiro (P-50/R-100)
29. Pinheiro (P-100)

Além de ligações entre fibras em maior quantidade, ocasionado pelo grande número de fibras por grama, o maior teor de pentosanas das últimas frações classificadas pelo "Bauer McNett" (Tabela 22) e também das polpas com maior percentagem de fibras da região próxima da medula (Tabela 23), deve ter auxiliado as ligações das fibras dessas polpas, produzindo papéis com maiores índices de resistência físico-mecânicas.

Tabela 22 - Teor de pentosanas (%) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	14,8*	15,0	23,2	7,4
P-30/R-50	15,6	15,6	25,3	8,2
P-50/R-100	16,2	16,4	25,6	8,6
P-100	18,0	18,0	28,8	9,3

* determinações em duplicata

Tabela 23 - Composição química das polpas produzidas em laboratório.

Amostras	Pentosanas (%)	Extrativos Etanol Tolueno (%)
A	11,6*	0,13*
B	12,8	0,14
C	13,9	0,12
D	13,6	0,20
E	14,6	0,20
F	15,0	0,20

A = polpa da região próxima à casca.

B = 80% polpa da região da casca e 20% polpa da região da medula.

C = 60% polpa da região da casca e 40% polpa da região da medula.

D = 40% polpa da região da casca e 60% polpa da região da medula.

E = 20% polpa da região da casca e 80% polpa da região da medula.

F = polpa da região próxima à medula.

* = determinações em duplicata.

Em relação a resistência ao ar Gurley, apresentada na Tabela 24, este também se mostrou crescente da polpa R-30 para P-100, confirmando uma maior consolidação da folha de papel, o que concorda com as observações de DINWOODIE (1965) e ENRICH (1985).

Neste caso novamente, se verificou que o aumento do número de fibras por grama e da quantidade de

finos, resultaram num maior numero de ligações, diminuindo o tamanho dos poros. Como o volume de ar que passa pelos ca pilares é função direta do raio desses capilares (MURAKAMI & IMAMURA, 1983), com a diminuição do tamanho dos poros, di minuiu-se a porosidade da folha de papel, ocasionando maior resistência à passagem do ar.

Por outro lado, entre as polpas comerciais, a resistência ao ar mostrou maiores valores para as polpas com elevado número de fibras e de finos, com exceção do *E. globulus*, que embora tenha mostrado alto número de fi bras por grama, a resistência ao ar foi baixa; entretanto, deve-se considerar também a flexibilidade de suas fibras. Provavelmente as fibras mais rígidas (alta densidade básica da madeira) podem ter proporcionado aos papéis de *E. gl●-bulus*, uma estrutura mais aberta, deixando maiores espaços entre fibras, apesar destas ocorrerem em grande número por unidade de peso.

Tabela 24 - Resistência ao ar Gurley (s/100 ml) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	Composta	Betula	Pinheiro
R-30	0,47 $\pm$ 0,02*	0,23 $\pm$ 0,02	0,60 $\pm$ 0,08	0,16 $\pm$ 0,03
P-30/R-50	0,68 $\pm$ 0,02	0,28 $\pm$ 0,02	0,90 $\pm$ 0,09	0,75 $\pm$ 0,07
P-50/R-100	1,21 $\pm$ 0,03	0,63 $\pm$ 0,01	2,40 $\pm$ 0,10	1,58 $\pm$ 0,05
P-100	42,67 $\pm$ 0,61	21,12 $\pm$ 0,67	18,80 $\pm$ 0,70	469,3 $\pm$ 36,6

* intervalo de confiança à nível de 95% de probabilidade

Portanto, as polpas com maior número de fibras por grama apresentaram maior área de exposição das fibras e mais interfaces fibra-ar, aumentando o espalhamento da luz e a opacidade do papel. Ao mesmo tempo, este parâmetro também aumentou a área de ligação entre fibras, resultando em maiores índices de resistência físico-mecânicas.

6. CONCLUSÕES

Da discussão dos resultados podem ser tiradas as seguintes conclusões:

1. As polpas comerciais, fracionadas ou não, e as provenientes de diferentes regiões da secção transversal da madeira, mostraram diferenças importantes em termos de características de fibras, "coarseness" e número de fibras por grama.
2. As polpas contendo maior número de fibras produziram papéis com maiores coeficientes de espalhamento de luz e opacidade. Esta observação se apoia no fato da existência de elevado número de espaços intercelulares, o que obriga a luz a atravessar mais interfaces fibra-ar.

3. Os resultados da análise estatística confirmaram, para os diversos tipos de polpas estudados, alta correlação linear entre o número de fibras por grama e as propriedades de espalhamento de luz e opacidade.
4. As propriedades que dependem do grau de ligação entre fibras, como densidade aparente e as resistências à tração e ao estouro, mostraram maiores índices nas polpas com mais fibras por grama. Isto comprova que esta característica proporciona mais pontos de contato, aumentando o número de ligações. Ao mesmo tempo, se observou nessas polpas maior resistência ao ar Gurley.

7. LITERATURA CITADA

BARRICHELO, L.E.G. & J.O. BRITO, 1979. A utilização da madeira na produção de celulose. **Circular técnica**. IPEF, Piracicaba, (68):1-16.

BARRICHELO, L.E.G.; J.O. BRITO & A.V. BAZANELLI, 1983. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, São Paulo 21-26 nov. v. 1 p: 113-25.

BRASIL, M.A.M., 1976. Densidade básica e características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 3 anos de idade. Piracicaba, ESALQ/USP, 126 p. (Tese de Doutorado).

BRITT, K.W., 1966. Fiber coarseness in wood. TAPPI, Atlanta, 49(5):202-6.

CARPIM, M.A., R.V. SOUZA & L.E.G. BARRICHELO, 1985.

Comparação das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* de diferentes procedências.

In: CONGRESSO ANUAL ABCP, 18, São Paulo, 18-22 nov.

v. 1 p:57-68.

CASEY, J.P., 1960. Pulp and paper: chemistry and chemical technology. 2ª ed. New York, Interscience. 3 v.

CLARK, J.A., 1978. Pulp technology and treatment for paper. San Francisco, Miller Freeman. 751 p.

CLAUDIO-DA-SILVA JR., E. 1981. - "Chemical pulp beating related to fiber structure" - Syracuse. College of Environmental Science and Forestry. 295 p. (Tese-Doutorado-SUNY).

CLAUDIO-DA-SILVA, JR., E., 1983. Flexibility of pulp fibers a estructural approach. In: INTERNATIONAL PAPER PHYSICS CONFERENCE, p. 13-25.

COLLEY, J., 1973. Properties of blends of high and low density eucalypt pulps. APPITA, Melbourne, 26(6):430-6.

DINWOODIE, J.M., 1965. The relation between fiber morphology and paper properties: a review of literature. TAPPI, Atlanta, 48(8):440-7.

ENRICH, R.V., 1985. Desarrollo de las propiedades de resistencia del papel. Ingenieria Quimica: 55-62, abr.

FOELKEL, C.E.B. *et alii*, 1976. Celulose kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. IPEF, Piracicaba, (12):127-42.

GIERTZ, H.W., 1965. Some optical consequences of consolidation of paper. In: CONSOLIDATION OF THE PAPER WEB. TRANSACTIONS OF THE CAMBRIDGE SYMPOSIUM, London, p. 928-33.

GOETZLER, M., 1982. Final inter committee report on toluene substitution for benzene in TAPPI analytical procedures. TAPPI, Atlanta, 65(3):149-50.

HASUIKE, M. & K. MURAKAMI, 1985. Evaluation of optical characteristics based upon structural parameters of pulp sheet. In: PULP AND PAPER TECHNOLOGY CONFERENCE, Tokyo, out. 1985. Preprints. Tokyo, Japanese TAPPI. p. 173-180.

HIGGINS, H.G. *et alii*, 1973. The density and structure of hardwoods in relation to paper surface characteristics and other properties. TAPPI, Atlanta, 56(8)127-131.

HILLEND, W.J. 1966. Opacity problems in printing papers: Kubelka-Munk theory gives good, quick answers. TAPPI, Atlanta, 49(7):41-47.

HTUN, M. & A. de RUVO, 1978. The implication of the fines fraction for the properties of bleached kraft sheet. Svensk Papperstidning, Stockholm, 16:507-10.

KIBBLEWHITE, R.P., 1973. Effects of beating and wood quality on radiata pine kraft properties. New Zealand Journal of Forestry Science, Rotorua, 3(2):220-39.

- KIBBLEWHITE, R.P., 1979. Application of fibre characterization techniques to industrial papermaking operations. APPITA, Melbourne, 33(2):111-8.
- KIBBLEWHITE, R.P., 1984. Fibres and fines of some radiata pine corewood and slabwood thermomechanical and refiner mechanical pulps. APPITA, Melbourne, 37(8):650-7.
- LAW, K.N. & Z. KORAN, 1981. Effect of press drying on paper properties. APPITA, Melbourne, 34(5):387-90.
- LÖNNBERG, B., 1976. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. Paperi Ja Puu, Helsinki, 58(8):445-60, 463-6, 469-72.
- MURAKAMI, K. & R. IMAMURA, 1983. Porosity and gas permeability. In: MARK, R.E. Handbook of physical and mechanical testing of paper and paperboard. New York, Marcel Dekker, Inc. v. 1.
- NICHOLLS, G.A. & R.G. JAMIESON, 1976. Relating kraft pulp quality differences to raw material variation without wood samples. APPITA, Melbourne, 29(5):339-43.

NORDMAN, L., P. AALTONEN & T. MAKKONEN, 1965.

Relationships between mechanical and optical properties of paper affected by web consolidation. In: CONSOLIDATION OF THE PAPER WEB TRANSACTIONS OF THE CAMBRIDGE SYMPOSIUM, London, p. 909-927.

NORDMAN, L., 1970. Opacity and pulp properties.

Papierweseld. The Finnish Pulp and Paper Research Institute, Helsinki, (451):1-111

ROBINSON, J.V. 1975. A summary of reflectance equations

for application of the Kubelka-Munk theory to optical properties of paper. TAPPI, Atlanta, 58(10):152-153.

ROBINSON, J.V., 1976. Optical properties of paper as

affected by wet-end chemistry. TAPPI, Atlanta, 59(2):77-84.

SCALLAN, A.M. 1985. An alternative approach to the

Kubelka-Munk theory. Journal of Pulp and Paper Science, Montreal, 11(3):80-84.

SCALLAN, A.M. & J. BORCH, 1972. An interpretation of paper reflectance based upon morphology: inicial considerations. TAPPI, Atlanta, 55(4):583-588.

SCALLAN, A.M. & J. BORCH, 1974. An interpretation of paper reflectance based upon morphology: general applicability. TAPPI, Atlanta, 57(5):143-147.

SCALLAN, A.M. & J. BORCH, 1976a. An interpretation of paper reflectance based upon morphology: the effect of mass distribution. TAPPI, Atlanta, 59(10):102-105.

SCALLAN, A.M. & J. BORCH, 1976b. Fundamental parameters affecting the opacity and brightness of uncoated paper. In: BOLAM, F. Ed. The fundamental properties of paper related to its uses. London. The British Paper and Board Industry Federation. p. 152-171.

SCAN (s.d.). Testing procedures of Scandinavian pulp, paper and board. Stockholm.

TAPPI (s.d.). Testing procedures of Technical Association of Pulp and Paper Industry. Atlanta.

UPRICHARD, J.M. & J.T. GRAY, 1972. Pulps from New Zealand grown Corsian pine. APPITA, Melbourne, 26(1):39-42.

UPRICHARD, J.M., 1973. Effects of wood age on optical and strength properties of softwood kraft pulps. APPITA, Melbourne, 27(3):179-184.

APÊNDICE

Tabela 25 - Teor de cinzas (%) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Betula	Pinheiro
R-30	-	-	0,18*	0,05
P-30/R-50	-	-	0,18	0,08
P-50/R-100	-	-	0,28	0,13
P-100	-	-	1,58	0,50

* determinações em duplicata

Tabela 26 - Teor de extrativos em diclorometano (%) das polpas separadas no Bauer McNett.

	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Betula	Pinheiro
R-30	-	-	0,03*	0,02
P-30/R-50	-	-	0,06	0,02
P-50/R-100	-	-	0,13	0,04
P-100	-	-	1,49	0,15

* determinações em duplicata

Tabela 27 - Teor de extrativos em etanol/tolueno (%) das polpas separadas no "Bauer McNett".

	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Betula	Pinheiro
R-30	0,08*	0,07	0,08	0,05
P-30/R-50	0,05	0,09	0,09	0,03
P-50/R-100	0,08	0,07	0,16	0,06
P-100	0,42	0,36	1,58	0,19

* determinações em duplicata

Tabela 28 - Composição química das polpas comerciais.

Espécie	Extrativos			
	Diclorometano (%)	Etanol/tolueno (%)	Pentosanas (%)	Cinzas (%)
<i>E. grandis</i>	0,10*	0,15	15,8	0,13
<i>E. urophylla</i>	0,11	0,15	15,8	0,13
<i>E. globulus</i>	0,08	0,15	18,7	0,08
<i>E. deglupta</i>	0,15	0,21	18,1	0,19
<i>Betula verrucosa</i>	0,72	0,86	25,1	0,99
<i>Gmelina arborea</i>	0,68	0,92	16,5	0,07
Pinheiro	0,02	0,06	7,4	0,04

* determinações em duplicata