

influência das características dos flocos sobre o refino de polpas químicas

Brás José Demuner
Eduardo L. V. Dória
Ergílio Claudio-da-Silva Jr.
Aracruz Celulose S.A.

Vail Manfredi
Bahia Sul Celulose S.A.

SINOPSE

Flocos de fibra são as atuais entidades básicas que recebem impactos durante tratamento mecânico. Então, suas propriedades e comportamento devem apresentar uma estreita relação com os resultados de refino.

Resultados inéditos para características anatômicas dos flocos de polpas químicas branqueadas de mercado (eucalipto, softwood e misturas entre elas) e suas relações com propriedades das fibras foram analisadas, à luz das mais recentes teorias de refino. O comportamento das polpas em um refinador piloto de

Trabalho apresentado no 25.º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo, de 23 a 27 de novembro de 1992. Prêmio de Mérito ABTCP.

discos mostrou ser fortemente influenciado pelo tamanho dos flocos, o qual é, por sua vez, relacionado com o comprimento e, principalmente, com o número de fibras por grama.

Melhores resultados de refino, em termos de desenvolvimento de propriedades do papel com a energia específica útil aplicada, foram obtidos quando o tamanho dos flocos foi similar à largura das lâminas e dos canais dos discos de refino.

ABSTRACT

Pulp flocs are the actual entities receiving impacts during low consistency, and such their properties and behavior must bear a direct relationship with the refining results.

The anatomical characteristics of flocs from bleached chemical pulps, and their relationships

with fiber properties have been analysed, using market eucalypt and softwood pulps in various proportions. The behaviour of such pulps in a pilot disc refiner was shown to be influenced primarily by floc size, which in turn is related to the number of fibers per gram and average fiber length.

Better refining results, in terms of paper properties evolution per applied energy, were obtained when the floc size was closer to the bar and groove width at the refining tackle.

1. Introdução

Um grande número de teorias têm sido propostas para explicar os mecanismos de refino. Algumas teorias são baseadas na ação de refino sobre fibras individualizadas enquanto outras consideram que o tratamento ocorre sobre flocos de fibras.

Atualmente existem inúmeras evidências (1-19) para suportar que as fibras são tratadas, principalmente, como flocos durante o refino a baixa consistência. Embora esse conceito seja atualmente bem aceito, ainda não é bem conhecido como o comportamento do refino se relaciona com as principais características dos flocos.

A avaliação de resultados de refino, considerando uma discussão básica da influência das características dos flocos sobre o desenvolvimento das propriedades do papel com o refino, deverá resultar em uma abordagem fundamental para entender a ação de refino e criar alternativas para a otimização do processo.

Esse estudo foi desenvolvido com o objetivo de contribuir com informações fundamentais sobre as principais relações entre as características dos flocos e a variação das propriedades da polpa com o refino.

2. Revisão de Literatura

2.1: Ação de Refino

É, atualmente, reconhecido que a ação de refino é sempre um balanço entre o número e a intensidade de impactos. Esse conceito foi desenvolvido por Brecht (20), Danforth (21) Leider & Nissan (22,23), dentre outros. Todos consideram a característica da ação de refino, descrita pela intensidade de refino, e a extensão da ação, a qual é realizada sobre as fibras (flocos).

O conceito de Teoria da Carga Específica de Corte (CEC) tem proporcionado uma contribuição significativa na procura de um índice representativo da intensidade de refino. Essa teoria é um modelo matemático simples e de fácil aplicação (24,25). Entretanto, a teoria CEC não considera o efeito do material das lâminas, o desgaste das lâminas, profundidade dos canais, a vazão e a consistência da suspensão. Muitos estudos têm sido desenvolvidos considerando o efeito desses parâmetros (25-29).

Kerekes (28) considera que para ser usado na prática, o nú-

mero e a intensidade de impactos devem ser relacionados com parâmetros importantes do refino, que são: fluxo de massa, potência útil aplicada sobre a polpa e a capacidade do refinador para impor impactos sobre as fibras (flocos). Esse último parâmetro, denominado como fator C, é calculado a partir de variáveis do refinador, características das fibras e da consistência da suspensão. O valor de CEC é o resultado da relação entre a potência útil pelo fator C, em contraste a um grande número de trabalhos que consideram o valor de CEC e de energia específica para caracterizar o refino.

O modelo proposto por Kerekes, além de ser bem fundamentado matematicamente, tem demonstrado ser aplicável em condições industriais (30), podendo tornar-se uma outra importante ferramenta para explicar a ação de refino e para otimizar o controle da operação. A atual e principal dificuldade é o cálculo do número de impactos sobre fibras, enquanto sabe-se que o tratamento é heterogêneo (nem todas as fibras recebem impactos) e ocorre principalmente sobre flocos de fibras.

Outro modelo teórico para explicar a ação de refino foi recentemente proposto por Lumiainen (5,29), o qual considera a importância da largura das lâminas para determinar o comprimento de impactos sobre flocos de fibras entre as superfícies das lâminas, chamado de Teoria da Carga Específica de Superfície (CES). Esse conceito, não considerado na teoria CEC, contraria um grande número de estudos, que consideram que o refino sobre flocos ocorre, principalmente, no corte das lâminas e não entre as superfícies das lâminas.

2.2. Otimização do Refino

Desde que existem evidências de que flocos são presentes entre as lâminas dos discos, sendo entidades fundamentais recebendo tratamento (1-11,19,27,31-35), deve existir uma forte influência dos parâmetros relacionados com a tendência de floculação (tais como: consistência,

flexibilidade das fibras, comprimento das fibras, quantidade de refino, etc.) sobre as relações entre a ação e o resultado do refino. Esses aspectos são considerados em inúmeros estudos (1,6,13-16,19,31,32,36,37).

Steenberg (36), discutindo o "processo Kappa" (modificação da estrutura das fibras), estabeleceu que quando o diâmetro de um cilindro de prensagem (simula as superfícies de refino) era similar ao diâmetro de pérolas de vidro (simula flocos de fibras) a modificação na estrutura das pérolas ocorria com baixa carga aplicada, em comparação aos resultados obtidos quando diferentes diâmetros eram testados. Esses resultados sugerem que flocos com tamanho próximo à largura dos canais de refino resultariam em menor consumo de energia para atingir um mesmo nível de desenvolvimento das propriedades da polpa em comparação a flocos de tamanho diferente ao da largura dos canais de refino.

Levlin (19) observou que uma polpa de birch refinada a um baixo valor de CEC apresentava maior variação das propriedades que uma polpa de Pinus. Os resultados indicaram também que a abertura entre os discos de refino para a polpa de birch era sempre a metade ou menor que o da polpa de Pinus, em função da grande tendência de floculação dessa última.

Estudando o efeito da desfloculação sobre o resultado de refino, Hietanen e Ebeling (1) observaram um menor consumo de energia para uma polpa softwood desfloculada que uma polpa normal floculada (140 vs 490 kWh/t) para atingir um mesmo valor de índice de tração. Esses resultados indicaram que a desfloculação resultou em um tratamento mais homogêneo. Entretanto, polpas de birch floculadas e desfloculadas apresentaram similar consumo de energia para obter um mesmo nível de índice de tração (16,38). Nesse caso, as fibras (flocos) tendem a escapar das superfícies das lâminas para os canais.

O tratamento sobre fibras ao invés do tratamento sobre flocos

tem sido proposto como alternativa para aumentar a eficiência do refino a baixa consistência (6,15-19,31). Entretanto, tem sido constatado que o sistema de desfloculação afeta ambos o controle do refino e as propriedades da polpa. Além disso, também tem sido verificado que apenas 55 a 60% das fibras de uma polpa softwood desfloculada recebem tratamento durante o refino a baixa consistência (6,38).

Essas informações de literatura revelam que os flocos têm grande contribuição para a otimização do refino, embora não esteja claro ainda como o comportamento do refino se relaciona com as características dos flocos. A avaliação de diferentes polpas, as quais influenciam as características e o comportamento dos flocos, têm sido também limitada normalmente a um pequeno número de polpas softwood e birch. Estudos recentes (37-41) têm demonstrado que diferentes tipos de polpas podem resultar em diferentes respostas de refino.

3. Experimental

3.1. Amostras de Polpa

Todas as amostras usadas nesse estudo são de polpas kraft branqueadas de mercado, produzidas a partir de diferentes espécies de madeira e em diferentes instalações industriais. Foram utilizadas várias polpas de *Eucalyptus grandis*, *E. globulus* e de softwood: Pinheiro tropical, Scandinavian pine e Southern pine.

Quatro níveis de misturas entre uma polpa de *Eucalyptus grandis* e de Southern pine foram também avaliadas. Os níveis usados foram: 85% eucalipto/15% softwood, 50% eucalipto/50% softwood, 25% eucalipto/75% softwood e 15% eucalipto/85% softwood. As misturas foram preparadas antes do refino, caracterizando refino da mistura. Outras polpas de *E. grandis*, *E. globulus* e softwood (Spruce e outra polpa Tropical Pine) e mais um nível de mistura 75% *E. grandis*/25% Southern Pine foram ainda considerados ape-

nas na avaliação das relações entre características das fibras e dos flocos.

3.2. Características Morfológicas das Fibras

O comprimento médio ponderado, "coarseness", e o número de fibras por grama foram determinados no analisador Kajaani FS-100.

3.3. Características dos Flocos

A revisão de um grande número de estudos (17,18,42-54) revela a existência de vários métodos para medir e controlar a floculação de fibras. A grande maioria dos métodos são conduzidos em níveis de consistência tipicamente usados na caixa de entrada da máquina. Não existem disponíveis na literatura métodos para a caracterização de flocos em níveis de consistência normalmente usados no refino (2 a 6%).

Atualmente é bem estabelecido que a consistência afeta a floculação das fibras. Portanto, como a consistência de refino é muito superior à da caixa de entrada, para obter uma maior compreensão da influência das características dos flocos sobre a ação do refino, é fundamental que essas sejam determinadas na consistência de refino.

Para medir as características dos flocos, a suspensão de polpa não refinada foi preparada na mesma consistência do refino (5%), usando água deionizada, ajustando o pH da suspensão para 5,5 e a temperatura para 25°C. Após completa homogeneização (Norma SCAN), uma amostra representativa da suspensão foi transferida para uma placa de petri. Os flocos foram amostrados um a um, em condição estática, puxando-os da suspensão pelas fibras superficiais com uma pinça. Esse procedimento, baseado no método de Soszynski et alii (51), foi realizado, inicialmente, sob lupa para certificar-se que apenas um floco era amostrado de cada vez.

O valor médio do volume, densidade, número de flocos por grama, número de fibras por floco e do diâmetro de cada floco

foi obtido para um conjunto de 30 medições com 50 flocos em cada uma (total de 1500 flocos).

O volume de cada floco foi determinado pelo método da balança hidrostática, o qual considera que o volume de um corpo é igual ao peso de água deslocado. Adaptou-se uma montagem similar à apresentada na norma TAPPI T258 os-76, para permitir pesagens analíticas.

Após a determinação do volume dos flocos a suspensão proveniente de 50 flocos foi filtrada (com recirculação de finos) e seca em estufa até peso constante. O peso de cada floco foi calculado dividindo-se o peso total por 50.

O diâmetro de cada floco foi calculado assumindo-se que cada floco apresenta-se sob forma esférica. Esse critério foi adotado após comprovação desse formato, através de sucessivas medições em microscópio ótico acoplado a um analisador de imagens.

O número de flocos por grama foi calculado através do inverso do peso médio de cada floco. Esse critério foi adotado após constatar (através de inúmeras medições) que ao término da amostragem de todos os flocos presentes em uma placa (suspensão a 5%) não havia fibras (resíduo) remanescentes.

Finalmente, o número de fibras por grama foi obtido passando-se a suspensão de fibras de 50 flocos pelo analisador automático de fibras Kajaani.

3.4. Teste de Papel

As folhas para testes foram preparadas, condicionadas e testadas conforme normas SCAN.

3.5. Refino

As curvas de refino foram conduzidas em instalação piloto, equipada com um refinador de 12 polegadas, motor de 55 kW, bomba de deslocamento positivo, a qual permite um bom controle da vazão pelo refinador, e válvulas de controle automático.

As amostras de polpas (todas na forma de fardos, após secagem industrial) foram desagre-

gadas, a 5% de consistência, em água desmineralizada (dureza total menor que 0,01 g CaCO₃/m³, condutividade = 0,06 micro S/m, pH = 8,6 e valores sílica e de sódio menor que 0,02 g/m³). Foram refinadas 5 polpas de *E. grandis*, 6 de *E. globulus*, 3 de softwood e 4 níveis de mistura, embora as características dos

flocos tenham sido determinadas para várias outras polpas.

A suspensão foi homogeneizada circulando-a pelo refinador com os discos totalmente afastados durante 5 minutos. Durante esse período mediu-se a potência em vazio e amostrou-se a polpa não refinada.

As curvas de refino foram con-

duzidas a um valor constante de carga específica de corte (0,5 Ws/m). O nível desejado de energia específica de refino foi obtido através de refino em um único passe, variando a vazão de suspensão e ajustando a abertura dos discos para atingir o valor desejado de potência. Outras variáveis experimentais usadas são reportadas abaixo.

Variáveis Operacionais do Refino

CEC w.s/m	Consis- tência %	Rotação rpm	Disco refino	Largura lâminas mm	Ângulo lâminas	Altura canais mm	Comprim. corte km/rev.	Pot. vazio a 1200 rpm kW
0,5	5	1200	3x3/5°	3	5°	7,9	0,624	9,0

4. Resultados e Discussão

Esse estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar as principais relações entre as características dos flocos e o de-

envolvimento das propriedades da polpa com o refino.

O experimental considerou várias características dos flocos (volume, densidade, diâmetro, número de flocos por grama e

número de fibras por floco) e também várias propriedades da polpa (índice de tração, densidade aparente, resistência ao ar-Gurley e coeficiente de espalhamento de luz).

Tabela 1 – Características dos Flocos-Polpas Não Refinadas

Amostras	Volume Flocos mm ³	Diâmetro Flocos mm	Densidade Flocos ug/mm ³	Número Flocos/ Gramas	Número Fibras/ Floco
Eucalyptus grandis					
A	7,9	2,5	50,5	2600	5816
B	7,2	2,4	51,1	2792	8000
C	7,8	2,5	46,0	2813	7500
D	7,8	2,5	48,7	2649	7590
E	6,8	2,3	51,5	2914	7718
Eucalyptus globulus					
F	6,8	2,3	51,0	2941	6781
G	7,1	2,4	50,9	2844	8684
H	8,2	2,5	50,0	2512	7651
I	8,3	2,5	47,2	2584	7052
J	8,0	2,5	46,2	2715	6814
K	6,8	2,3	52,2	2857	8316
Polpas Softwood					
Tropical Pine	74,6	5,2	43,9	310	6990
Southern Pine	59,0	4,8	44,9	377	9078
Scandinavian Pine	46,1	4,4	45,7	482	10146
Misturas de Polpas*					
85% Eucalipto/15% Softwood	12,9	3,0	45,1	1748	7841
50% Eucalipto/50% Softwood	41,2	4,3	43,0	569	18822
25% Eucalipto/75% Softwood	77,9	5,3	42,2	307	20628
15% Eucalipto/85% Softwood	91,6	5,6	42,0	257	22434

* Eucalipto = *E. grandis* (Amostra A). Softwood = Southern Pine.

As características dos flocos foram relacionadas com a variação (desenvolvimento) das propriedades da polpa com o refino, ou seja, o valor da propriedade da polpa refinada com 60 kWh/t de energia específica útil diminuído do valor da propriedade da polpa não refinada.

4.1. Características dos Flocos vs Propriedades das Fibras

As polpas de eucalipto e softwood apresentaram (tabela 1) uma mesma faixa de variação para o número de fibras por floco (5800 a 10100), enquanto que as misturas de polpas apresentaram diferenças significativas para essa característica dos flocos.

O aumento do teor de fibras longas na mistura (entre 15 e 85%) aumentou consideravelmente o número de fibras por floco (8000 para 22000). Tal fato deve estar relacionado com a maior capacidade de entrelaçamento entre fibras da polpa softwood (fibras longas e flexíveis), proporcionando maior retenção das fibras curtas e rígidas de eucalipto como floco.

Os resultados ilustrados na figura 1 a 3 mostram que existe

são os mais densos, com maior número de fibras e aparecem em menor número por grama de polpa.

No. FLOCOS POR GRAMA VS VOLUME FLOCOS

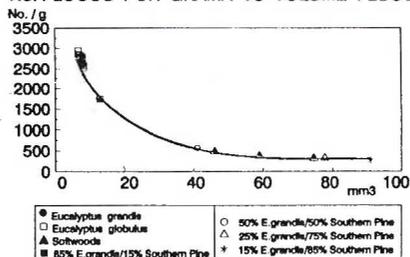


Figura 3 - Relação entre o Número de Flocos por Grama e o Volume dos Flocos.

Esses resultados permitiram que, para a seqüência do trabalho, fosse escolhida uma única característica dos flocos para ser relacionada com o desenvolvimento das propriedades da polpa com o refino. Optou-se pelo volume dos flocos por ser um parâmetro de mais fácil medida e que deve se relacionar com as seguintes características do refino: a) a espessura da manta de polpa entre as superfícies de refino; b) tempo de retenção dos flocos no interior do refinador; c) o número de impactos e d) com a heterogeneidade do tratamento.

Os resultados da tabela 1 mostram também que os flocos de polpas softwood são várias vezes mais volumosos que os flocos de polpas de eucalipto, confirmando o pequeno número de informações de literatura atualmente disponível (8,48-50,54,56). Esses resultados contribuem ainda para explicar porque as polpas softwood apresentaram maiores valores de volume terminal que as polpas hardwood, especialmente o eucalipto, em estudo anterior (39).

A grande diferença para os valores de volume dos flocos entre as polpas estudadas deve estar relacionada, principalmente, com as propriedades das fibras, as quais apresentaram, também, grandes diferenças entre as polpas avaliadas (tabela 2).

As características dos flocos sob turbulência, forças de compressão e de cisalhamento é provavelmente afetado também pela química de superfície das fibras e pelas características físico-químicas da água. É impor-

tante ressaltar que nesse estudo tanto a turbulência quanto a características da água utilizada na obtenção dos flocos foram mantidas constantes. Certamente as características dos flocos aqui apresentadas estão longe de prever o comportamento dos flocos sob condições dinâmicas (31,45), mas elas proporcionam informações adicionais.

De acordo com informações recentes de literatura (48,55), a interação mecânica entre fibras é o principal fator responsável pela tendência de floculação das fibras. É, atualmente, bem aceito também que a interação entre fibras depende da consistência, do comprimento e do "coarseness" das fibras, conforme resumido por Kerekes (48) no seguinte modelo matemático, denominado de "crowding factor" (N):

$$N \propto \frac{5 \cdot Cm \cdot L^2}{W}, \text{ em que:}$$

- N = número de fibras que ocupam o volume de uma esfera de diâmetro igual ao comprimento das fibras
- Cm = consistência da suspensão, %
- L = comprimento das fibras, m
- W = "coarseness" das fibras, kg/m

Kerekes concluiu que o valor de N reflete diretamente o número de pontos de contato entre fibras de uma folha formada aleatoriamente. Assim, a habilidade das fibras para formar flocos com diferentes características aumenta com o valor de N.

Certamente, as curtas e rígidas fibras de eucalipto têm muito maior dificuldade de formar flocos coesos (o que contribui para excelentes características de formação) que as longas e flexíveis fibras de polpas softwood, especialmente em baixos níveis de consistência.

O número de fibras por grama é uma propriedade composta, calculada a partir do inverso do comprimento x "coarseness" das fibras. Esse parâmetro é atualmente fácil e rapidamente medido, através de medidores automáticos de fibras. Conforme

DENSIDADE FLOCOS VS VOLUME FLOCOS

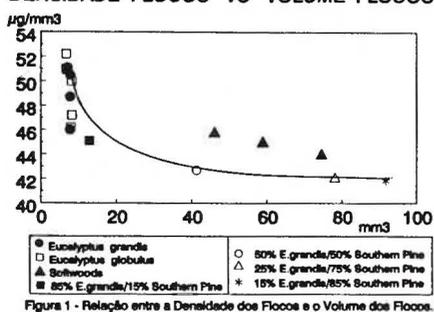


Figura 1 - Relação entre a Densidade dos Flocos e o Volume dos Flocos.

interdependência entre as características dos flocos. Observa-se que os flocos de maior volume

No. FIBRAS / FLOCO VS VOLUME FLOCO

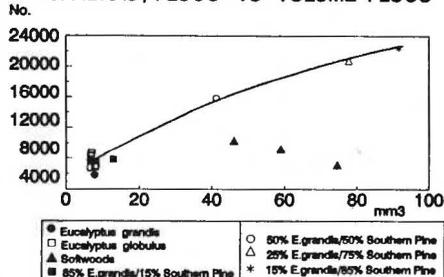


Figura 2 - Relação entre o Número de Fibras por Floco e o Volume dos Flocos.

Tabela 2 – Características Morfológicas-Polpas Não Refinadas

Amostras	Comprimento Ponderado Fibras, mm	Coarseness Fibras mg/100 m	Número Fibras Por Grama Milhão
Eucalyptus grandis			
A	0,67	8,9	20,5
B	0,67	8,7	20,4
C	0,67	8,9	20,0
D	0,67	8,6	20,6
E	0,63	8,4	21,9
Eucalyptus globulus			
F	0,66	9,7	18,7
G	0,59	8,5	24,5
H	0,64	8,2	23,2
I	0,73	8,4	19,4
J	0,69	8,3	21,5
K	0,75	8,4	18,4
Polpas Softwood			
Tropical Pine	2,46	39,4	1,6
Southern Pine	2,70	26,5	2,6
Scandinavian Pine	2,13	18,3	4,2
Misturas de Polpas*			
85% Eucalipto/15% Softwood	0,75	13,3	14,8
50% Eucalipto/50% Softwood	1,13	18,4	9,9
25% Eucalipto/75% Softwood	1,61	21,6	7,8
15% Eucalipto/85% Softwood	2,20	29,1	4,0

* Eucalipto = E. grandis (Amostra A). Softwood = Southern Pine.

demonstrado recentemente (56-59), o número de fibras por grama tem uma contribuição significativa sobre as propriedades do papel que dependem fundamentalmente do número de ligações entre fibras e também do número de interfaces fibra-ar.

Introduzindo o número de fibras por grama no modelo de Kerekes torna-se então possível relacionar o número de fibras que ocupam o volume de uma esfera de diâmetro igual ao comprimento das fibras (N) com a consistência (Cm), comprimento (L) e o número de fibras por grama (NF), de acordo com a seguinte expressão:

$$N \propto 5 \cdot Cm \cdot L^3 \cdot NF$$

Uma vez que nesse estudo a consistência foi mantida constante (5%), as alterações nas características dos flocos são devidas, principalmente, às dife-

renças nos valores do comprimento e do número de fibras por grama das polpas avaliadas.

Portanto, a partir dessas derivações espera-se que o número de pontos de contato entre fibras, e então o volume dos flocos, aumentem proporcionalmente com o cubo do comprimento x o número de fibras por grama.

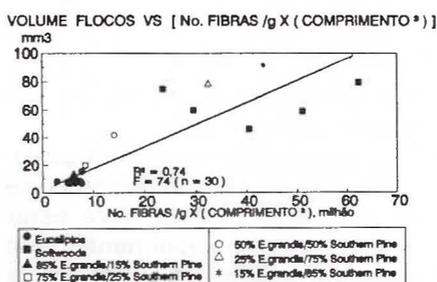


Figura 4 - Relação entre o Volume dos Flocos e o Número de Fibras por Grama vs o Cubo do Comprimento das Fibras.

renças nos valores do comprimento e do número de fibras por grama. Entretanto, ve-

VOLUME FLOCOS VS COMPRIMENTO FIBRAS

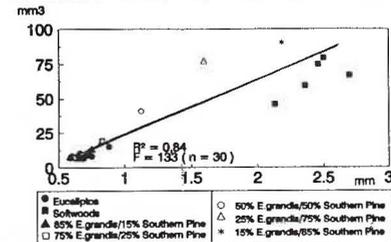


Figura 5 - Relação entre o Volume dos Flocos e o Comprimento das Fibras.

rença-se também (figuras 5 e 6) que o comprimento e o número de fibras por grama isoladamente têm maior contribuição (maiores níveis de R² e F) que a interação entre elas.

Os resultados ilustrados na figura 5 mostram, conforme esperado, que o tamanho dos flocos têm relação direta com o comprimento, e conseqüentemente com maior capacidade de entrelaçamento, formam flocos mais volumosos que as fibras de menor comprimento.

Por outro lado (figura 6), polpas com maior número de fibras por grama (menor comprimento de fibras x "coarseness") apresentam flocos menores que polpas com pequeno número de fi-

A estreita relação entre o número de fibras por grama e o volume dos flocos é uma forte indicação de que a metodologia de medição do volume dos flocos utilizada nesse estudo, a qual é facilmente aplicável, é satisfatória para o estágio atual, podendo tornar-se uma importante ferramenta na aplicação de uma abordagem mais fundamental para entender a ação de refino e otimizar o processo, conforme será discutido abaixo.

ou indiretamente medidos (31, 34,39,40,60-62).

Os resultados apresentados na tabela 3 mostram que as polpas avaliadas apresentam diferentes propriedades tanto no estado não refinado e também após a aplicação de 60 kWh/t de energia útil. Nesse estudo denominou-se de variação (desenvolvimento) da propriedade ao resultado obtido entre o valor da propriedade a 60 kWh/t de energia útil menos o valor para da propriedade da polpa não refinada.

4.2. Características dos Flocos vs Respostas de Refino

Os efeitos básicos do refino são atualmente bem estabelecidos (fibrilação, corte das fibras, formação de finos, hidratação da parede celular e a flexibilização das fibras) e podem ser direta

Optou-se por apresentar apenas a relação entre o valor obtido para a variação do índice de tração com o volume dos flocos, em função da grande massa de dados obtida nesse estudo e, principalmente, por ser uma das propriedades de grande deman-

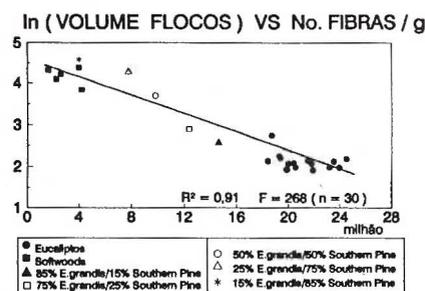


Figura 6 - Relação entre o Logaritmo e o Volume dos Flocos e o Número de Fibras por Grama.

bras por grama. Os valores de R² e de F (figuras 5 e 6) mostram também que o número de fibras por grama tem maior contribuição sobre o volume dos flocos que o comprimento das fibras.

Tabela 3 – Propriedades das Polpas – Não Refinadas a 60 kWh/t de Energia Útil

Amostras	Índice Tração Nm/g		Densidade Aparente Kg/m ³		Resistência Ar-Gurley s/100 ml	
	0 kWh/t	60 kWh/t	0 kWh/t	60 kWh/t	0 kWh/t	60 kWh/t
Eucalyptus grandis						
A	17,5	41,0	501	590	0,7	8,0
B	24,7	45,0	536	612	1,7	8,2
C	25,0	50,0	529	630	1,5	13,5
D	29,4	57,4	553	658	2,3	22,2
E	22,8	37,7	520	607	1,6	5,6
Eucalyptus globulus						
F	24,4	37,7	507	545	0,7	1,7
G	24,4	40,1	531	606	1,6	4,6
H	29,9	59,0	559	662	1,9	17,5
I	27,8	55,0	496	590	0,7	8,0
J	25,7	52,0	524	605	0,8	5,0
K	24,3	43,0	505	556	0,5	2,1
Polpas Softwood						
Tropical Pine	15,0	28,0	502	575	0,3	0,6
Southern Pine	17,7	41,0	474	555	0,1	1,0
Scandinavian Pine	18,4	50,0	517	615	0,5	2,5
Misturas de Polpas*						
85% Eucalipto/15% Softwood	24,8	50,0	530	626	1,8	16,6
50% Eucalipto/50% Softwood	22,3	46,0	497	580	0,8	5,7
25% Eucalipto/75% Softwood	22,4	45,0	495	575	0,5	3,0
15% Eucalipto/85% Softwood	20,4	42,0	480	560	0,3	2,0

* Eucalipto = E. grandis (Amostra A). Softwood = Southern Pine.

da para a obtenção de vários tipos de papéis.

Os resultados ilustrados nas figuras 7 e 8 indicam comportamentos de refino distintos entre as polpas de eucalipto e softwood. Para as polpas de eucalipto observa-se (figura 7) que a variação do índice de tração aumentou com o volume dos flocos, enquanto que para as polpas softwood (figura 8) a variação do índice de tração diminuiu com o aumento do volume dos flocos.

Conforme comentado anteriormente, as polpas de eucalipto apresentaram elevado número de flocos/g com pequeno volume/diâmetro, comparativamente às polpas softwood. Para as polpas de eucalipto os flocos apresentaram volume cujo diâmetro médio é inferior à largura das lâminas e dos canais dos discos (2,5 mm vs 3 mm). Nesse caso, o aumento do volume dos flocos deve significar um aumento da espessura da manta de polpa entre as superfícies de refino (menor quantidade de fibras/flocos que atravessam pelos canais sem receber tratamento) e, conseqüentemente, maior quantidade de fibras/flocos que recebem tratamento durante o refino.

Para as polpas softwood, os flocos apresentaram diâmetro médio e maior que a largura das lâminas e dos canais de refino (4,8 mm vs 3 mm). Nesse caso, o aumento da espessura da manta entre as superfícies de refino com o aumento do volume dos flocos deve contribuir para uma grande dissipação de energia, com conseqüente redução na eficiência do tratamento, conforme demonstrado por Steenberg (36).

Esses resultados estão também de acordo com muitos estudos recentes. Lumiaiem (5,29) constatou que flocos de polpas softwood apresentaram partes refinadas enquanto outras partes de um mesmo floco não apresentavam nenhum tratamento. Ele concluiu que o refino de polpas softwood com flocos maiores que a largura das lâminas é muito heterogêneo, o que contribui para entender melhor os resultados aqui apresentados.

ÍND. TRAÇÃO VS VOLUME FLOCOS VARIÇÃO = TRAÇÃO A 60 kWh/t - TRAÇÃO A 0 kWh/t

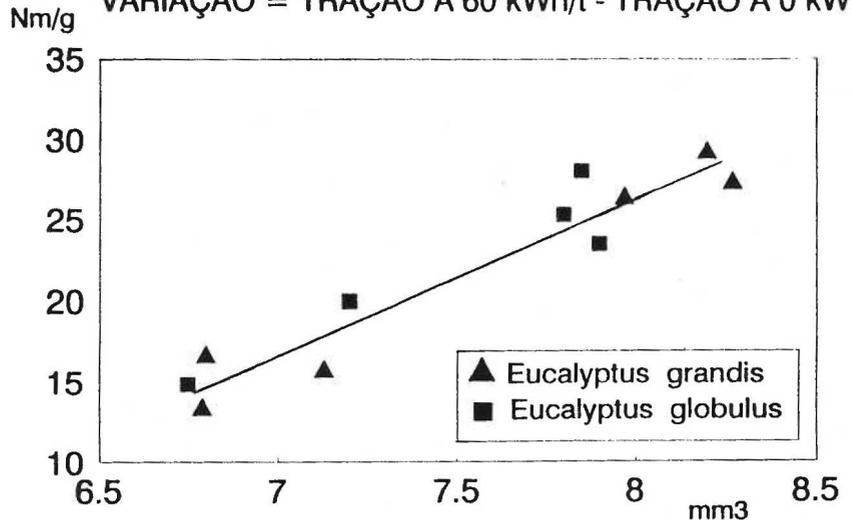


Figura 7 - Efeito do Volume de Flocos sobre o Desenvolvimento do Índice de Tração Durante o Refino de Polpas de Eucalipto.

ÍND. TRAÇÃO VS VOLUME FLOCOS VARIÇÃO = TRAÇÃO A 60 kWh/t - TRAÇÃO A 0 kWh/t

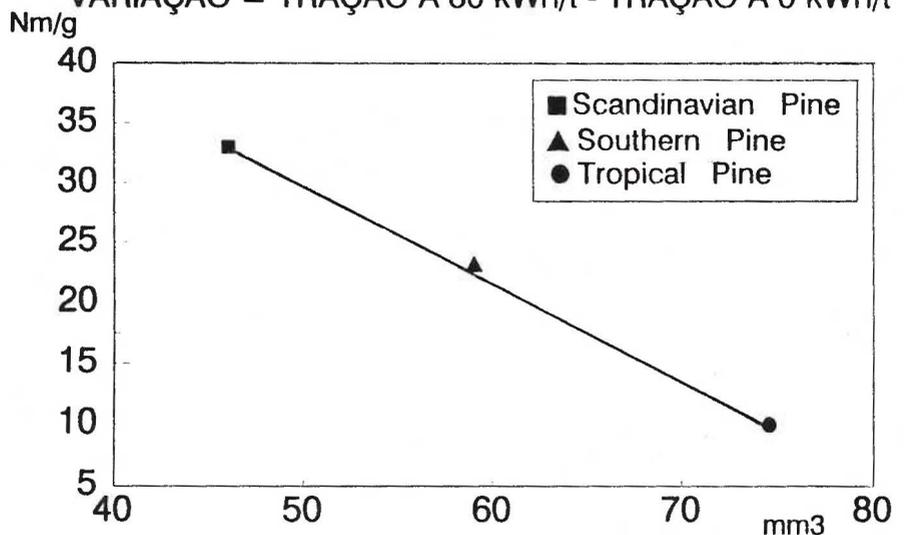


Figura 8 - Efeito do Volume de Flocos sobre o Desenvolvimento do Índice de Tração Durante o Refino para Polpas Softwood.

De acordo com Hietanen (38), quando os canais dos discos são maiores que o comprimento das fibras (diretamente relacionado com o tamanho dos flocos) ocorrem fluxos de fibras no interior dos canais resultando em pouco ou nenhum tratamento sobre a polpa. Arjas (37) concluiu que a largura dos canais é das lâminas não precisam ser maior que o comprimento das fibras (estritamente relacionado com o tamanho dos flocos).

Hietanen e Ebeling (1) observaram que uma polpa softwood desfloculada apresentou menor consumo de energia específica

de refino para atingir um mesmo valor de índice de tração que a mesma polpa normal (não desfloculada), em função da dispersão de fibras resultar em um tratamento mais homogêneo que o da polpa floculada. Entretanto, polpas de birch normal e desfloculada apresentaram similares consumos de energia de refino (17,38), indicando que as fibras (flocos) tendem a escapar pelos canais dos discos (38).

De acordo com Arjas (63,64) para obter tratamento mais homogêneo a distribuição do tempo de retenção da polpa (flocos) no interior do refinador deve ser

a mais estreita possível, porque flocos com menor tempo de retenção (menor volume) recebem menos tratamento que flocos com maior tempo de retenção (maior volume).

Conforme comentado anteriormente, os flocos de eucalipto são menores que os de softwood. O aumento no volume dos flocos de eucalipto deve contribuir para aumentar a espessura da manta de polpa entre as superfícies de refino, a espessura da manta de polpa entre as superfícies de refino, o tempo de retenção dos flocos no interior dos discos (número de impactos) e a abertura entre os discos, reduzindo a quantidade de fibras que fluem pelos canais sem receber tratamento (19,36,37,39, 63,64).

Nesse estudo o aumento do volume dos flocos de eucalipto significou também que o diâmetro dos flocos se aproximou da largura das lâminas e dos canais dos discos (3 mm), o que, de acordo com informações de literatura citadas acima, contribui para uma maior eficiência do tratamento, aqui verificada pelo aumento da variação do índice de tração com a energia específica aplicada (figura 7).

Os resultados apresentados estão também de acordo com a recente teoria de Kerekes (28), cujo modelo matemático considera que o tamanho dos flocos tem uma importante contribuição para determinar o número de impactos das lâminas de refino sobre os flocos.

A menor variação do índice de tração para as polpas softwood com flocos mais volumosos, é uma possível explicação para o uso industrial de maiores valores de carga específica de corte e discos com lâminas e canais mais largos que os normalmente utilizados para as polpas de eucalipto.

Da mesma forma que verificado para as polpas de eucalipto (figura 7), os resultados ilustrados na figura 8, para polpas softwood, sugerem também que maior variação para o índice de tração é obtida para polpas com flocos de volume cujo diâmetro (tabela 1) é similar à largura das

ÍND. TRAÇÃO VS VOLUME FLOCOS

VARIAÇÃO = TRAÇÃO A 60 kWh/t - TRAÇÃO A 0 kWh/t

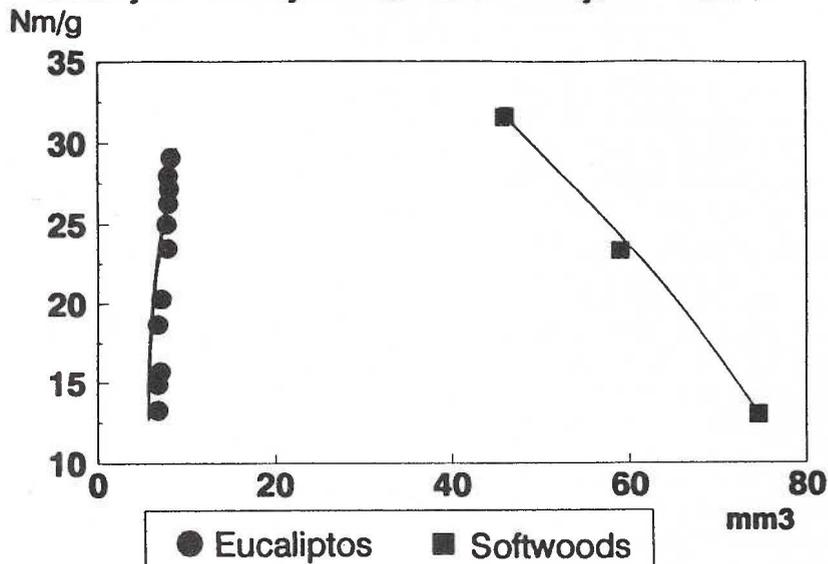


Figura 9 - Efeito do Volume de Flocos sobre o Desenvolvimento do Índice de Tração Durante o Refino de Diferentes Polpas de Eucalipto e Softwood.

lâminas e dos canais dos discos de refino. Essa tendência é mais facilmente visualizada na figura 9, na qual são ilustrados os valores da variação do índice de tração com o volume dos flocos para as polpas de eucalipto e softwood. Observa-se que os valores de variação do índice de tração tendem a um máximo, o qual parece corresponder a valores de volume dos flocos (ca 12 mm³), cujo diâmetro (ca 3 mm) se aproxima da largura das lâmi-

nas e canais do disco utilizado nesse estudo.

Como primeira tentativa para checar essa hipótese aplicou-se o mesmo experimental utilizado para as polpas de eucalipto e softwood no refino de misturas de polpas puras de E. grandis (Amostra A) e Southern Pine. Os resultados ilustrados na figura 10, na qual são considerados valores para quatro níveis de misturas e também os valores obtidos para as polpas puras, confir-

ÍND. TRAÇÃO VS VOLUME FLOCOS

VARIAÇÃO = TRAÇÃO A 60 kWh/t - TRAÇÃO A 0 kWh/t

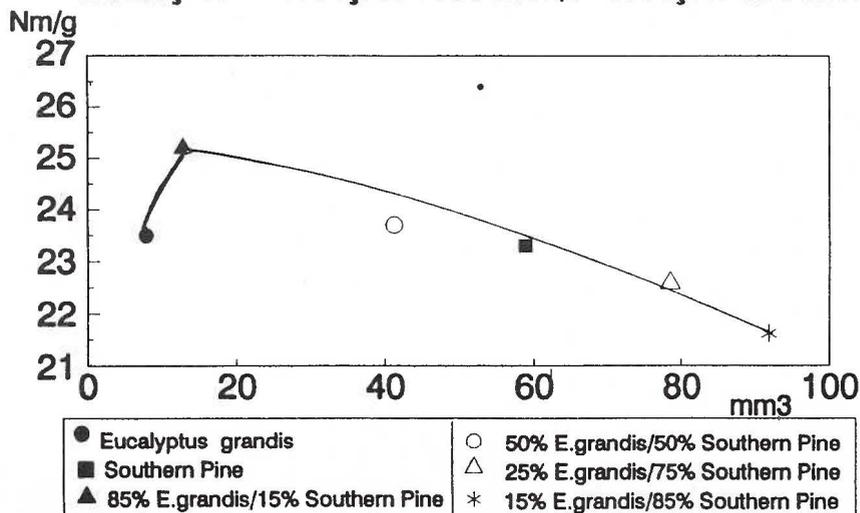


Figura 10 - Efeito do Volume de Flocos sobre o Desenvolvimento do Índice de Tração Durante o Refino para Polpas Puras e Misturas de Polpas de Eucalipto e Softwood.

mam a hipótese apresentada anteriormente. Ou seja, para todas as polpas e níveis de mistura aqui avaliados, obteve-se maior desenvolvimento para o índice de tração com a energia específica útil aplicada quando os flocos apresentaram volume cujo diâmetro foi similar à largura das lâminas e dos canais do disco.

O modelo proposto acima para explicar o desenvolvimento do índice de tração com o refino, o qual é também válido para outras importantes propriedades do papel, como a densidade aparente e a resistência ao ar-Gurley (tabela 3), indica a otimização do processo, especialmente quando o objetivo é a redução de energia de refino. Entretanto, esse modelo é ainda objeto de estudos mais detalhados, incluindo principalmente discos com diferentes configurações.

5. Conclusões

Resultados originais para características dos flocos (volume, densidade, diâmetro, número de flocos/g e número de fibras por floco) e as suas relações com as propriedades das fibras e também com o desenvolvimento das propriedades da polpa com o refino foram discutidas nesse estudo, à luz das mais recentes teorias sobre refino, as quais revelam que floco de fibras é a entidade básica que recebe tratamento a baixa consistência.

O volume dos flocos, o qual é facilmente medido através do método da balança hidrostática, mostrou-se fortemente correlacionado com o comprimento de fibras e, principalmente, com o número de fibras por grama.

Todas as polpas avaliadas apresentaram grande diferença nos valores de volume dos flocos, cujos diâmetros foram menores que 2,5 mm para as polpas de eucalipto, entre 4,4 a 5,2 mm para as polpas softwood e entre 3,0 e 5,6 mm para as misturas de polpas.

Os resultados mostraram que as polpas com flocos de tamanho similar à largura das lâminas e dos canais dos discos (3 mm) apresentaram maiores evoluções das propriedades com a

energia específica aplicada. Essa abordagem, embora seja ainda objeto de estudos mais detalhados, confirma a importância das características da entidade básica que recebe impactos durante o refino, na busca de uma maior otimização do processo.

6. Bibliografia

01. Hietanen, S. and Ebeling, K. Control of Heterogeneity of the Refining Action. In.: International Conference - Advances in Refining Technologies. Pira - England. 1986. Vol. 1 p1-27.
02. Hietanen, S. and Ebeling, K. Heterogeneity in Refining Action: Effects on Fiber and Paper Structure. In.: 1983 International Paper Physics Conference - Tappi, Atlanta - 1983. p27-39.
03. Stationwola, M. I.; Atack, D. and Karnis, S. Distribution and Motion of Pulp Fibers on Refiner Bar Surface. In.: 73th Annual CPPA Meeting. Toronto. 1991. p183.
04. Atack, D.; Stationwala, M. I.; Huusari, E.; Ahlquist, P.; Fontebasso, J. and Perkola, M. Paperi Ja Puu 6: 689. 1989.
05. Lumiaiem, J. Ppi (August): 46. 1990.
06. Hietanen, S. and Ebeling, K. Paperi Ja Puu 72(2):158. 1990.
07. Hietanen, S. and Ebeling, K. Paperi Ja Puu 72(2):172. 1990.
08. Jackelin, G. Prepared Contribution. In.: 12th Fundamental Research Symposium. By Boland Ed. Cambridge - London. 1966. p299.
09. Wagle, D. G.; Lee, C. W. and Brodley, R. S. Tappi 71(8): 137. 1988.
10. Steemberg, B. Contribution to Discussion. In.: Symposium on Beating. By Bolam Ed. Cambridge. 1957. p229-240.
11. Rity, N. and Arjas, A. Paperi Ja Puu 51(1):69. 1969.
12. Page, D. H.; Kosky, J. and Booth, D. BP&BIRA Bulletin 28:15. 1962.
13. Hietanen, S. Paperi Ja Puu 72(9):874. 1990.

14. Hietanen, S. Paperi Ja Puu 72(10):952. 1990.
15. Hietanen, S. Paperi Ja Puu 73(1):52. 1991.
16. Hietanen, S. Paperi Ja Puu 73(2):141. 1991.
17. Wagberg, L. Svensk Papperstid. 6:R48. 1985.
18. Raji, U. and Wahren, D. Svensk Papperstid. 67(15): 186. 1964.
19. Levlin, J. E. Some Differences in the Beating Behavior of Softwood and Hardwood Kraft Pulp. In.: Fundamentals Concepts of Refining. Appleton. 1980.
20. Brecht, W. Tappi 50(8):40A. 1967.
21. Danforth, D. H. Southern Pulp and Paper Manufacture 32(7):52. 1969.
22. Leider, P. J. and Nissan, A. H. Tappi 60(10):85. 1977.
23. Leider, P. J. and Nissan, A. H. Tappi 61(8):91. 1978.
24. Pycraft, C. Paper Southern Africa 6(Jan/Beb.). 1986.
25. Evans, B. E. and Baker, C. F. Experience With a Pilot Refiner. Wiggins Teape R&D. 1979.
26. Jorris, G. Revue A.T.I.P. 40 (10):507. 1986.
27. Kartovaara, I. Tappi 61(8):90. 1978.
28. Kerekes, R. J. Nordic Pulp and Paper Research Journal 1:3. 1991.
29. Lumiaiem, J. A. New Approach to the Critical Factors Effecting Refining Intensity and Refining Results in Low-Consistency Refining. In: Eucepa Meeting. Stockholm. 1990.
30. Clara, S. D.; Kerekes, R. J. and Martinez, M. Application of the C factor to characterise Pulp Refiner. In.: Proceedings of Current and Future Technologies of Refining, Pira, Londres. 1991.
31. Ebeling, K. A Critical Review of Current Theories for the Refining of Chemical Pulps. In.: Symposium of Fundamental Concepts of Refining, Appleton. 1980. p1-33.
32. Banks, W. A. Paper Technology 8(4):363. 1967.

33. Fox, T. S.; Brodkey, R. S. & Nissan, A. H. *Tappi* 62(3):55. 1979.
34. Page, D. H. The Beating of Chemical Pulps – The Action and the Effects. In.: *Papermaking raw Materials*. 8 th Fundamental Research Symposium. By Punton Ed., Oxford. 1989. p1-39.
35. Fox, T. S. Inside a Disk Refiner. In.: *Symposium of Fundamental Concepts of Refining*. Appleton. 1980. p281-313.
36. Steenberg, B. K. A Model of Refining as a Special Case of Milling. In.: *Fundamental Concepts of Refining*. Appleton. 1980. p107.
37. Arjas, A. Constant Versus Variable Rotational Speed During the Refining Process and the Adapt-Set System. In.: *Fundamental Concepts of Refining*. Appleton. 1980. p264.
38. Hietanen, S. *Paperi Ja Puu* 73(3):249. 1991.
39. Manfredi, V. and Claudio-da-Silva Jr., E. Refining-Operational Variables vs Raw Materials. In.: *Pira International Conference – Advances in Refining Technologies*. England, 1986.
40. Claudio-da-Silva Jr., E. Chemical Pulp Beating Related to Fiber Structure. Syracuse. College of Environmental Science and Forestry. 1991. 295p. (Ph. D. Thesis).
41. Demuner, B. J.; Manfredi, V. and Claudio-da-Silva Jr., E. Refino de Celulose de Eucalipto – Uma Análise Fundamental. In.: XX.º Congresso Anual da ABTCP. São Paulo, Brasil, 1989.
42. Barcel, E. and Shuffler, E. *Pulp and Paper Canada* 82 (6):124. 1981.
43. Kerekes, R. J. and Garner, R. G. *Journal of Pulp and Paper Science (Transaction of the Techn. Sec. TR53)*. 1982).
44. Ragner, E. K.; Moller, Q. and Norman, B. *Tappi* 61(9):49. 1979.
45. Norman, B. and Wahren, D. *Svensk Papperstid.* 75(20): 807. 1972.
46. Jokinen, O. and Ebeling, K. *Paperi Ja Puu* 5:317. 1985.
47. Takeuchi, N.; Senda, S.; Namba, K. and Kuwahara, G. *Appita* 37(3):223. 1983.
48. Kerekes, R. J. and Scheel, C. J. Characterization of Fibre Flocculation Regimes by a Crowding Factor. In.: 77th CPPA Annual Meeting. 1991. pB223.
49. Soszynski, R. M. and Kerekes, R. J. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 4: 172. 1988.
50. Meizer, D. I. J. and Hemel, R. *PT(Dez/Jan)*:42. 1989.
51. Kaji, H.; Monma, K. and Katsura, T. Fractal Analysis of Flocculation in Pulp Suspension. In.: 1991 International Paper Physics Conference. Kona, Hawaii. 1991. p291.
52. Mayer, R. and Wharen, D. *Svensk Papperstid.* 7(10): 432. 1964.
53. McKenzie, A. W. and Prosser, N. A. *Appita* 34(4):293. 1981.
54. Hourani, M. J. *Tappi* 71(7): 186. 1988.
55. Kerekes, R. J.; Soszyinky, R. M. and Tam Doo, P. A. The Flocculation of Pulp Fibers. In.: *Papermaking Raw Materials*. Fundamental Research Symposium. V. Punton Ed. Oxford 1985. p265.
56. Carpim, M.A.; Barrichelo, L. E. G. and Claudio-da-Silva Jr., E. A Influência do Número de Fibras por Grama nas Propriedades Óticas do Papel. In.: XX.º Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, Brasil. 1978. p183.
57. Campinhos Jr., E. and Claudio-da-Silva Jr., E. Development of the Eucalyptus Tree of the Future. In.: *Espra Meeting*, Sevilha. 1990.
58. Demuner, B. J.; Vianna Doria, E. L.; Claudio-da-Silva Jr., E. and Manfredi, V. The Influence of Eucalypt Fiber Characteristics on Paper Properties. In.: 1991 Paper Physics Conference, Kona, 1991. p185.
59. Claudio-da-Silva Jr., E. The Flexibility of Pulp Fibres – A Structural Approach. In.: *Proceedings of 1983 Paper Physics Conference – Tappi/CPPA*. Cape Cod 1983.
60. Tam Doo, T. A. and Atalla, R. H. *Journal of Pulp and Paper Science* 15(1):J36. 1989.
61. Platt, W. N. and Atalla, R. H. Effects of Refining on the Molecular Structure – An NMR Study of Celulose and Water. In.: 1983 International Paper Physics Conference – Tappi. Harwichport-MA. 1983. p59.
62. Kibblewhite, R. P. Effects of Pulp Drying and Refining on Softwood Fibre Wall Structure Organizations. In.: *Fundamentals Papermaking*. Barker & Punton, Ed. 9th Fundamental Res. Symp.. Cambridge. 1989. vol. 1. p105.
63. Arjas, A. Influence of Residence Time on Pulp Properties. In.: *International Symposium on Fundamental Concepts of Refining*. Appleton. 1980.
64. Arjas, A. Residence Time Distributions in Conical Refiners and Refining Systems. In.: *Fundamentals Concepts of Refining*. Appleton. 1980. p8.