

Sobre os mecanismos de refinação

MFN -0640
N CHAMADA:
TITULO: Sobre os mecanismos de refinação
AUTOR(ES): REDKO, B.V.P.
EDICAO:
IDIOMA: português
ASSUNTO:
TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 17
PROMOTOR: ABTCP
CIDADE: São Paulo
DATA: 19-23.11.1984
IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1984, ABTCP
PAG/VOLUME: p.579-597, v.2
FONTE: Congresso Anual da ABCP, 17, 1984, São Paulo, v.2,
p.579-597
AUTOR ENTIDADE:
DESCRIPTOR:

RESUMO:

Redko, B. V. P. COMPANHIA FLORESTAL MONTE DOURADO - PARÁ - BRASIL

0. Introdução.

Refinação é a etapa da fabricação do papel onde é modificada a estrutura das fibras de celulose para melhorar a qualidade do produto final.

As características da folha são determinadas pela refinação mas limitadas pela natureza da celulose utilizada.

O desempenho de uma celulose é governado pela interação de suas propriedades básicas (1): comprimento médio da fibra, compactabilidade úmida, resistência intrínseca da fibra, coesão, finura e facilidade de refinação.

PROPRIEDADES BÁSICAS DA CELULOSE (CLARK, 1)

COMPRIMENTO MÉDIO DA FIBRA -

É definido como $\sum w l^3 / \sum w l^2$ onde w é peso de uma fibra e l é o seu comprimento - Símbolo: $\bar{l}$.

COMPACTABILIDADE ÚMIDA

É a capacidade das fibras colapsarem em uma massa compacta quando a folha é formada e então formar a folha mais densa. Depende da espessura e da natureza das paredes das fibras.

- É medida pela densidade da folha padrão - Símbolo: V

RESISTÊNCIA INTRÍNSECA DA FIBRA.

É a resistência à tração das fibras individuais, medida pela ruptura zero span e proporcional à viscosidade para o mesmo tipo de celulose - Símbolo: Z

COESÃO

É a medida da intensidade com que as fibras se unem entre si quando sujeitas a tensão no plano de folha de papel. Inclui a coesão, a área efetiva de contacto entre duas fibras adjacentes, e o entrelaçamento entre as fibras. Símbolo: S .

FINURA

É o peso em miligramas de cem metros de comprimento da fibra - Símbolo: G .

FACILIDADE DE REFINAÇÃO

Aumento da resistência à tração logo depois do início da refinação, quando a quantidade de energia de refinação é limitada. Símbolo: $-B$.

A refinação altera as características das fibras usando seu potencial latente de propriedades básicas para que seja formada uma folha nas especificações projetadas, economicamente.

Cada celulose tem propriedades básicas próprias. Consequentemente, a interação celulose-facas do refinador será específica para cada refinador e para cada tipo de refinação.

Este trabalho é dedicado à memória de Cecil MacDonald

Trabalho apresentado no XVII Congresso Anual da ABCTP - Semana do Papel, realizado em São Paulo - Brasil - de 19 a 23 Novembro de 1984.

Este trabalho descreve o mecanismo de refinação de três celuloses de folhosas: bétula, eucalipto e gmelina. Na refinação são usados um refinador PFI, um refinador Jokro e três refinadores Valley beater.

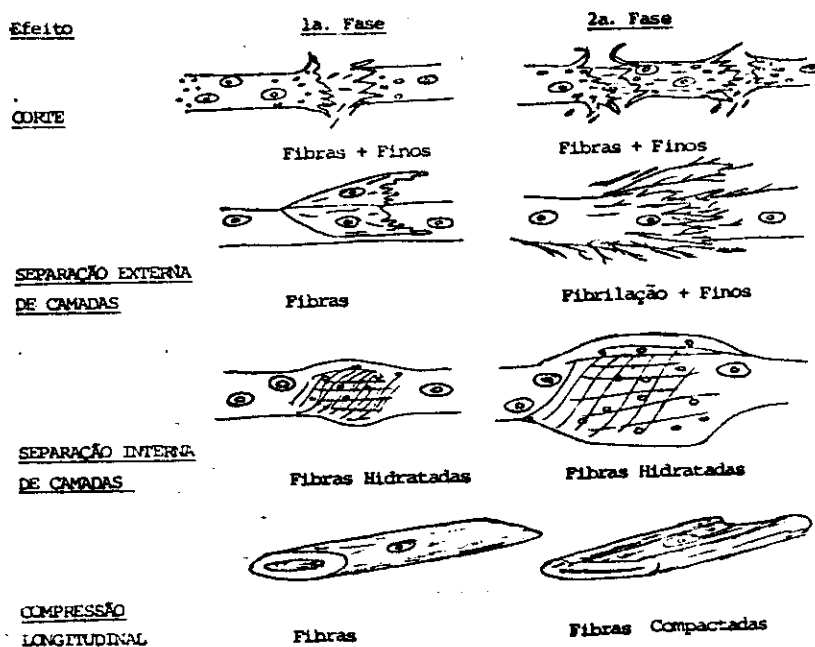
A resistência das folhas formadas é discutida com base no efeito de cada refinador nas propriedades básicas das celuloses. São sugeridos os mecanismos de refinação mais adequados para a qualidade do produto e a economia do processo.

1. Fundamentação.

A ação do refinador na celulose se dá por corte, delaminação interna e externa, com ou sem formação de finos.

Um esquema da interação facas-celulose é apresentado na figura 1.

FIGURA 1
MECANISMOS DE REFINAÇÃO
EFEITO DAS FACAS DOS REFINADORES NAS FIBRAS



O quadro 1 descreve a influência da ação do refinador nas propriedades básicas da celulose de folhosas.

Notar que a compactabilidade úmida e a coesão das fibras podem ser muito aumentadas com a refinação.

QUADRO 1
INFLUÊNCIA DA AÇÃO DO REFINADOR NAS PROPRIEDADES BÁSICAS DA CELULOSE DE FOLHOSAS

Efeito	Corte	Delaminação Interna	Delaminação Externa	Compressão Longitudinal	Finos
Componente médio da fibra - I	Não altera sensivelmente - (I)	Não altera	Não altera	Não altera	Não altera sensivelmente - (I)
Compactabilidade úmida - II	Aumenta sensivelmente	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Resistência entre as fibras - III	Não altera	Diminui	Não altera	Não altera	Não altera
Coesão - IV	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Flexão - V	Não altera	Não altera	Não altera	Não altera	Não altera
Facilidade de refinação - VI	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta

QUADRO II

INFLUÊNCIA DOS MECANISMOS DE REFINAÇÃO E DAS PROPRIEDADES BÁSICAS DA CELULOSE NA HETEROGENEIDADE DA ESTRUTURA DA FOLHA

Heterogeneidade do papel (2)	Fonte	Causa
Diferença entre as fibras	Celulose	Natureza da celulose
Posição do corte ou da delaminação	Refinação Celulose	- Tratamento aleatório no refinador - Resistência intrínseca da folha
Fibras intactas após muito tempo de refinação	Refinação Celulose	- Pequena área específica do refinador - Resistência intrínseca das fibras
Desigualdade na formação da folha	Refinação Celulose	- Tratamento aleatório do refinador - Coesão aleatória entre as partes - Resistência intrínseca das fibras
Variações nas dimensões das fibras e na distribuição dos componentes da parede celular	Refinação Celulose	- Corte - Delaminação externa e interna - Resistência intrínseca - Compressão longitudinal - Facilidade de refinação
Variação no comprimento dos segmentos livres (finos)	Refinação Celulose	- Corte - Delaminação externa - Resistência intrínseca - Facilidade de refinação
Variação na força de ligação das fibras	Refinação Celulose	- Delaminação externa - Finos - Coesão - Resistência intrínseca - Compactabilidade úmida
Micro compressão dos segmentos ligados	Refinação Celulose	- Corte - Delaminação externa ou interna - Resistência intrínseca - Coesão - Compactabilidade úmida
Tensões de secagem nos segmentos livres.	Celulose	- Compactabilidade úmida - Coesão - Resistência intrínseca
Quantidade de desalinhamento nas lamelas	Refinação Celulose	- Delaminação interna ou externa. - Compressão longitudinal - Compactabilidade úmida - Coesão entre as camadas separadas
Quantidade de ligação no lumen	Refinação Celulose	- Compressão longitudinal - Delaminação interna - Compactabilidade úmida - Coesão
Geometria da ligação das células	Refinação Celulose	- Delaminação externa e interna - Compressão longitudinal - Finos - Compactabilidade úmida - Coesão

2. A refinação e a estrutura da folha.

O papel é formado por fibras heterogeneas, ligadas umas às outras de uma forma aleatória. O conjunto, porém, é homogêneo e as propriedades físicas são uniformes.

O quadro 2 indica a influência dos mecanismos de refinação e das propriedades básicas da celulose na heterogeneidade de estrutura da folha, que determina o desempenho do papel.

A estrutura da folha formada e a sua resistência variam ao longo do processo de refinação.

O desenvolvimento do processo de refinação é avaliado pelo grau de refinação, expresso em grau Schopper Riegler ou Canadian Freeness. O grau de refinação é a medida de drenabilidade de uma suspensão aquosa de celulose, em condições pré determinadas.

É um método discutível. Celuloses diferentes podem ter o mesmo grau de refinação. A drenagem dinâmica da máquina de papel é comparada com uma drenagem estática (1).

É o único método existente e difundido na indústria papaleira para avaliar a refinação, apesar de suas limitações.

O estudo da variação da resistência de celulose com a refinação será feito em folhas formadas com o mesmo grau de refinação, na falta de uma alternativa melhor.

O desempenho da folha é estimado pelos seus ensaios físicos mecânicos, que procuram simular condições reais. Os principais são a resistência a tração, ao rasgo e ao estouro.

Clark (1) interpreta os resultados dos ensaios físicos mecânicos pela correlação entre as propriedades básicas da celulose:

$$\text{Resistência à tração} = T = K_1 Z^{0,5} S^{0,5} L^{0,5} G^{-0,5} V^{1,0} \quad (1)$$

$$\text{Resistência ao rasgo} = R = K_2 Z^{1,0} S^{0,5} L^{1,5} G^{-0,5} V^{1,0} \quad (2)$$

$$\text{Resistência ao estouro} = E = K_3 Z^{0,5} S^{0,5} L^{1,5} G^{-0,5} V^{1,0} \quad (3)$$

K_1 , K_2 e K_3 são constantes.

Neste trabalho é proposta uma avaliação da ação refinador-celulose associando os resultados dos ensaios físicos mecânicos com as propriedades básicas da celulose.

A finura (G) e o comprimento médio da fibra (L) são constantes durante a refinação e não variam com o refinador. Os finos tem influência desprezível no comprimento médio da fibra devido ao seu baixo peso (1).

A finura e o comprimento médio da fibra dão a celulose um potencial dimensional de resistência. O desenvolvimento desse potencial em propriedade real da celulose depende da natureza intrínseca da parede das fibras, da ação do refinador e da compactabilidade e coesão entre os elementos na estrutura da folha.

Separando-se em (1), (2), e (3) os resultados que podem ser obtidos numericamente de uma curva de refinação, T, R, E, V, ou da celulose, L e G, desenvolve-se as fórmulas de qualidade de resistência que seguem:

$$\text{-Qualidade de Tração} = QT = K_1 Z^{0,5} S^{0,5} = TL^{-0,5} G^{+0,5} V^{-1,0} \quad (4).$$

$$\text{-Qualidade de Rasgo} = QR = K_2 Z^{1,0} S^{0,5} = RL^{-1,5} G^{+0,5} V^{-1,0} \quad (5).$$

$$\text{-Qualidade de Estouro} = QE = K_3 Z^{0,5} S^{0,5} = EL^{-1,5} G^{+0,5} V^{-1,0} \quad (6).$$

A partir da resistência da folha pode-se avaliar numericamente se a refinação aumentou a coesão entre as fibras ou se a resistência intrínseca da fibra foi aproveitada pelo refinador.

Notar o efeito da densidade da folha (V). Em duas folhas com mesma resistência e diferentes densidades, a coesão entre as fibras e/ou a resistência intrínseca das fibras são maiores na folha de menor densidade.

A qualidade da resistência resultante dessa refinação será melhor. Essa avaliação se restringe à amostra de celulose analisada.

A análise de outras celuloses da mesma matéria prima deverão considerar possíveis mudanças de propriedades básicas decorrentes da morfologia da madeira ou do processo de fabricação.

3. Material e métodos.

A avaliação das refinações foi feita com três amostras comerciais de celulose de folhosas.

-Bétula spp:-Origem:Finlândia-Viscosidade $850 \text{ cm}^3/\text{g}$

-Eucalyptus grandis- Origem: Brasil - Viscosidade $900 \text{ cm}^3/\text{g}$.

-Gmelina arborea - - Origem: Brasil - Viscosidade $800 \text{ cm}^3/\text{g}$.

As celuloses foram refinadas em cinco refinadores.

Refinador A - Refinador PFI do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A -IPT.

Refinador B - Refinador Jokro do IPT

Refinador C - Refinador Valley beater do IPT

Refinador D - Refinador Valley beater da Cross & Bevan, Londres.

Refinador E - Refinador Valley beater da Companhia Flirestal Monte Dourado.

As folhas para avaliação das celuloses refinadas nos equipamentos A,B e C foram feitas em formador tipo Rapid Koethen .

As folhas das celuloses refinadas nos equipamentos D e E foram feitas em formador tipo British Paper and Board Association.

As propriedades físicas foram determinadas usando-se os métodos descritos nas normas:

-Grau de refinação	ABCP	C10/73
-Gramatura	TAPPI	T220 m 60
-Espessura	TAPPI	T220 m 60
-Resistência à tração	TAPPI	T220 m 60
-Resistência ao rasgo	TAPPI	T220 m 60
-Resistência ao estouro	TAPPI	T220 m 60
-Resistência ao ar (Gurley)	ABCP	P 11/71
-Opacidade Elrepho	ABCP	P 18/73

Os resultados de ensaios foram interpolados numericamente a 30 e a 40 QSR para a avaliação e estão registrados nas tabelas de 1 a 4.

As tabelas 5 a 8 mostram a correlação numérica entre os resultados de resistência e as propriedades básicas da celulose.

As microfotografias das folhas foram tiradas no microscópio eletrônico de varredura Stereoscan Cambridge do IPT.São as figuras 2 a 36.

TABELA 1

PROPRIEDADES DAS CELULOSES

	BÉTULA SPP	EUCALYPTUS GRANDIS(31)	GHELIINA ARBÓREA
Comprimento de fibras mm-L	1,0	0,97	1,13
Fibras (mg/100g)- g	10,0	7,0	9,0
L0,5 G-0,5	0,31162	0,3723	0,3640
L1,5 G-0,5	0,3162	0,3611	0,4060

Trabalho apresentado no XVII Congresso Anual da ABCP-Semana do papel, realizado em São Paulo - Brasil- de 19 a 23 Novembro 1984.

TABELA - 1
CELULOSE DE BETULA
RESISTENCIA APÓS REFINAÇÃO EM 4 REFINADORES.

REFINADOR	A	B	C	D
TEMPO DE REFINAÇÃO (min)	0 (16)	0 (16)	0 (16)	0 (17)
REVOLUÇÕES POR MINUTO	30	40	40	40
DENSIDADE (g/cm ³)	VAR	0,4525	0,4575	0,4525
	30	0,4501	0,4521	0,4547
	40	0,4507	0,4566	0,4547
RESISTÊNCIA AO AR CURLEY (S/100m)	VAR	-	-	-
	30	14,5	10,0	17,1
	40	44,8	29,4	55,1
ÍNDICE DE TRAÇÃO (kg/g)	VAR	1204	1208	1208
	30	7370	6273	5666
	40	2716	7990	6807
ÍNDICE DE RASGO (kg/100g)	VAR	31,1	31,1	31,1
	30	135,9	97,2	100,2
	40	95,6	28,6	95,2
ÍNDICE DE ESTOURO (kg/cm ² /g)	VAR	5,4	5,4	5,4
	30	44,1	43,5	37,8
	40	47,9	46,2	46,7
OPACIDADE ELÉTRICA	VAR	32,3	32,3	32,3
	30	78,5	78,4	78,2
	40	77,7	76,2	76,0

TABELA - 2

CELULOSE DE EUCALYPTUS GRANDIS

RESISTENCIA APÓS REFINAÇÃO EM 5 REFINADORES

REFINADOR	A	B	C	D	E
TEMPO DE REFINAÇÃO (min)	0 (20)	0 (20)	0 (20)	0 (19)	0 (19)
REVOLUÇÕES POR MINUTO	30	3075	51,1	35	30
	40	15000	52	50	40
DENSIDADE (g/cm ³)	VAR	0,4510	0,4570	0,4510	0,444
	30	0,5076	0,5568	0,5265	0,628
	40	0,5519	0,5525	0,5405	0,670
RESISTÊNCIA AO AR CURLEY (S/100m)	VAR	3,3	3,3	3,3	7,5
	30	5,4	5,7	6,2	21
	40	10,5	7,8	10,5	76
ÍNDICE DE TRAÇÃO (kg/g)	VAR	1546	1546	1546	1930
	30	4409	5324	1999	6110
	40	5765	6028	5412	7790
ÍNDICE DE RASGO (kg/100g)	VAR	34	34	34	32
	30	125,1	711,9	89,9	109
	40	127,5	123,5	103,6	121
ÍNDICE DE ESTOURO (kg/cm ² /g)	VAR	8,0	8,0	8,0	10,7
	30	10,0	32,1	23,4	42,2
	40	37,6	58,0	36,2	54,7
OPACIDADE ELÉTRICA	VAR	31,4	31,4	31,4	30,5
	30	74,5	77,6	75,9	76
	40	76,9	75,7	76,8	76,7

TABELA - 4

CELULOSE DE CHESTNA ARBorea

RESISTENCIA APÓS REFINAÇÃO EM 5 REFINADORES

REFINADOR	A	B	C	D	E
TEMPO DE REFINAÇÃO (min)	0	0	0	0 (21)	0 (21)
REVOLUÇÕES POR MINUTO	30	3140	14	27	25
	40	12200	40	44,8	45
DENSIDADE (g/cm ³)	VAR	0,4529	0,4570	0,4580	0,562
	30	0,5495	0,5901	0,5312	0,701
	40	0,5903	0,5823	0,5556	0,756
RESISTÊNCIA AO AR CURLEY (S/100 m)	VAR	-	-	-	5,7
	30	22,8	18,7	79,7	56
	40	75,8	34,3	69,9	285
ÍNDICE DE TRAÇÃO (kg/g)	VAR	1816	1816	1816	2640
	30	5715	6540	4271	6498
	40	7414	7271	6219	8140
ÍNDICE DE RASGO (kg/100g)	VAR	42,2	42,2	42,2	49
	30	111	786,8	99	102
	40	105	102,5	701,3	103
ÍNDICE DE ESTOURO (kg/cm ² /g)	VAR	7,4	7,4	7,4	13
	30	30,9	37,1	28,7	40,7
	40	47,0	61,8	42,0	56,4
OPACIDADE ELÉTRICA	VAR	33,2	33,2	33,2	30,5
	30	77,4	76,4	80,5	73,4
	40	75	76,2	79,0	75,2

TABELA - 5

AVALIAÇÃO DA FACILIDADE DE REFINAÇÃO DE 3 CELULOSAS EM CINCO REFINADORES

AUMENTO EM ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA 10 MINUTOS DE REFINAÇÃO - Gm/g.

CELULOSE	BETULA	EUCALYPTUS GRANDIS	CHESTNA ARBorea
REFINADOR A (PFI)	1,75	0,75	1,5
REFINADOR B (KOKO)	1,00	1,26	1,70
REFINADOR C (VALLEY)	1,25	0,75	0,70
REFINADOR D (VALLEY)	1,51	1,50	1,55
REFINADOR E (VALLEY)	-	1,65	0,90

TABELA - 6

AVALIAÇÃO DA REFINAÇÃO DA CELULOSE DE BETULA EM 2 REFINADORES

REFINADOR	A	B	C	D
TEMPO	0 min.	0 min.	0 min.	0 min.
REVOLUÇÕES	30	30	30	30
DENSIDADE	VAR	0,442	0,442	0,442
	30	217	217	217
	40	34	30	30
RESISTÊNCIA	VAR	3485	3526	3160
	30	540	501	568
	40	239	227	200
ÍNDICE DE TRAÇÃO	VAR	39906	32671	35000
	30	466	447	492
	40	768	835	244

TABELA - 7

AVALIAÇÃO DA REFINAÇÃO DA CELULOSE DE EUCALYPTUS GRANDIS EM 5 REFINADORES

REFINADOR	A	B	C	D	E
TEMPO	0 min.	0 min.	0 min.	0 min.	0 min.
REVOLUÇÕES	30	30	30	30	30
DENSIDADE	VAR	0,630	0,639	0,639	0,609
	30	218	218	218	279
	40	38	58	38	40
RESISTÊNCIA	VAR	24309	26742	21373	26661
	30	577	579	695	488
	40	764	764	731	764
ÍNDICE DE TRAÇÃO	VAR	29717	29305	26095	31234
	30	660	619	521	568
	40	796	796	796	226

TABELA - 8

AVALIAÇÃO DA REFINAÇÃO DA CELULOSE DE CHESTNA ARBorea EM 5 REFINADORES

REFINADOR	A	B	C	D	E
TEMPO	0 min.	0 min.	0 min.	0 min.	0 min.
REVOLUÇÕES	30	30	30	30	30
DENSIDADE	VAR	1155	1155	1155	1155
	30	51	51	51	56
	40	51	51	51	56
RESISTÊNCIA	VAR	29880	29944	29583	26155
	30	525	654	481	545
	40	182	156	157	145
ÍNDICE DE TRAÇÃO	VAR	35479	33128	31820	30826
	30	445	413	456	349
	40	799	769	745	745



Figura 2- Celulose de bétula, sem refinação 180X



Figura 3- Celulose de bétula, sem refinação 60X

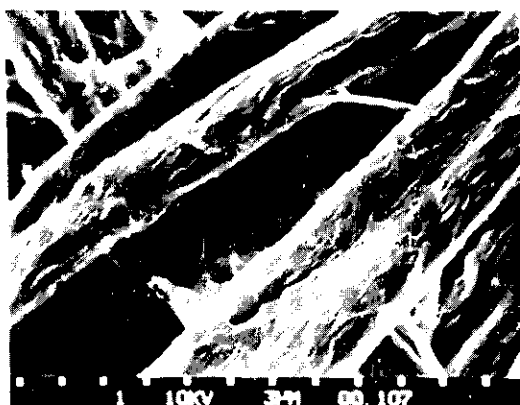


Figura 4- Celulose de bétula, sem refinação 1920 X



Figura 5- Celulose de bétula 5 minutos de refinação em Valley beater-180X

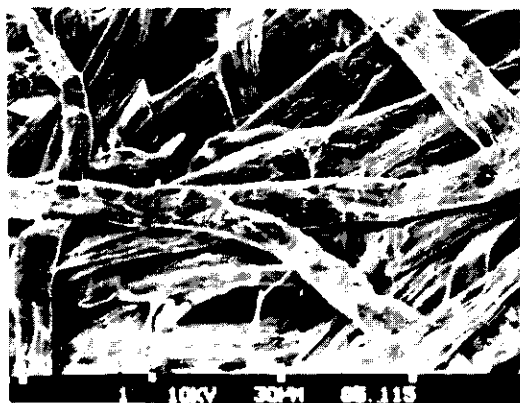


Figura 6- Celulose de bétula, 5 minutos de refinação em Valley beater-600X

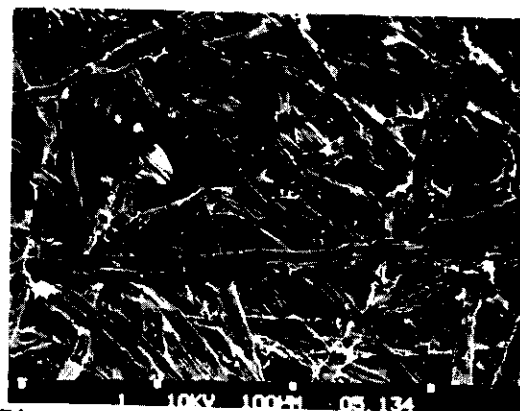


Figura 7- Celulose de bétula-30 minutos de refinação em Valley beater-180X

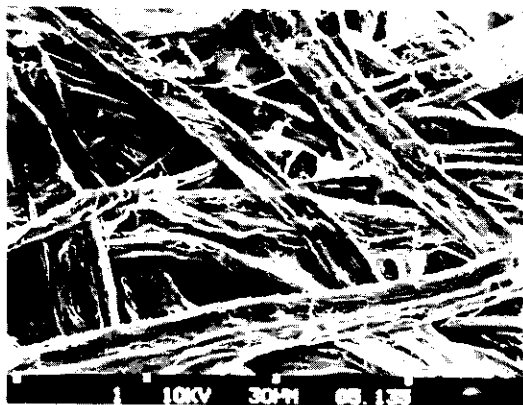


Figura 8- Celulose de bétula
30 minutos de refinação em
Valley beater 600X

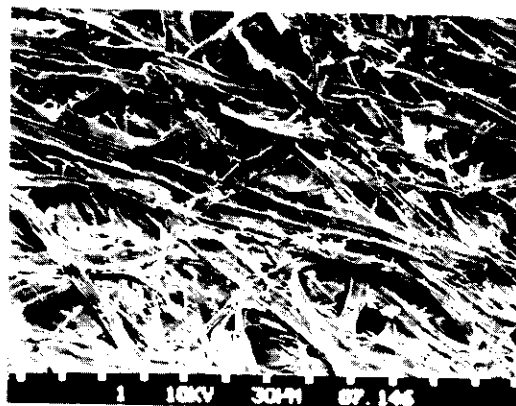


Figura 9- Celulose de bétula- 60 mi-
nutos de refinação em Valley beater-
180X

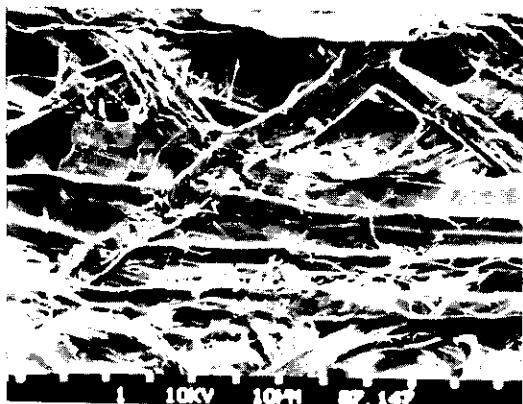


Figura 10- Celulose de bétula
60 minutos de refinação em
Valley beater -600 X

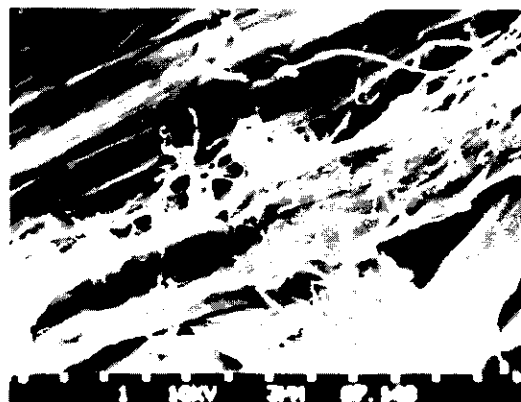


Figura 11- Celulose de bétula- 60 mi-
nutos de refinação em Valley beater
180X

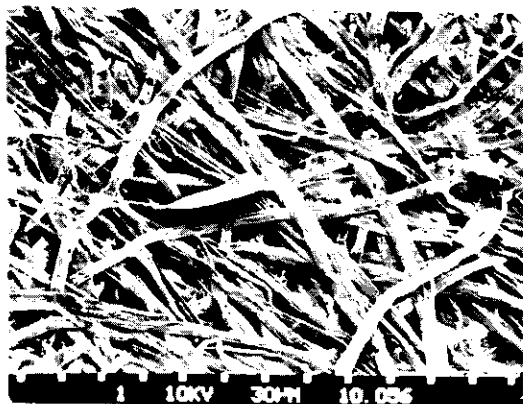


Figura 12- Celulose de eucalipto
sem refinação -180X

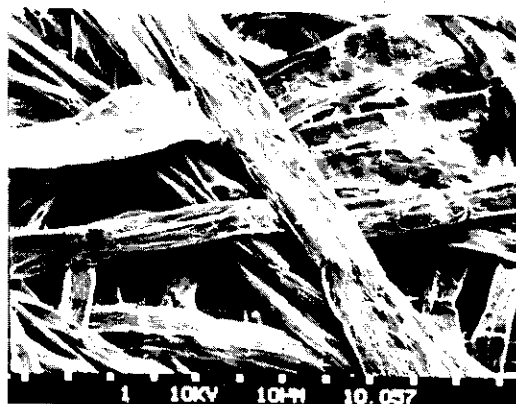


Figura 13- Celulose de eucalipto sem
refinação -600X

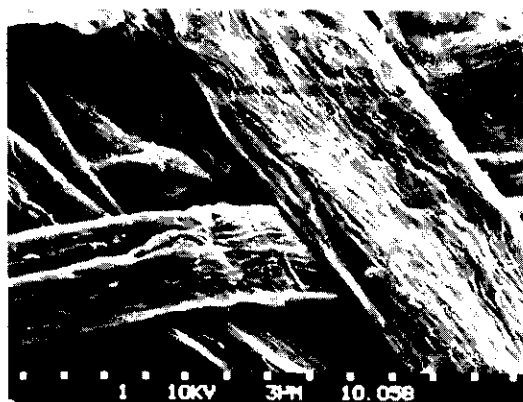


Figura -14-Celulose de eucalipto sem refinação-1800X

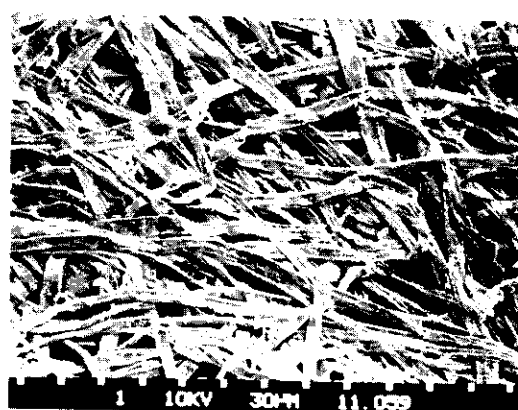


Figura 15- Celulose de eucalipto 5 minutos de refinação em Valley beater -180X

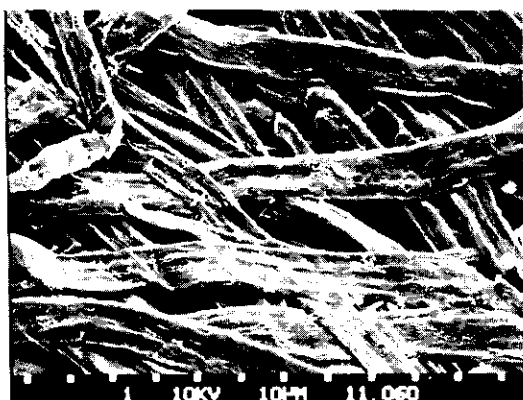


Figura 16- Celulose de eucalipto 5 minutos de refinação em Valley beater-600 X

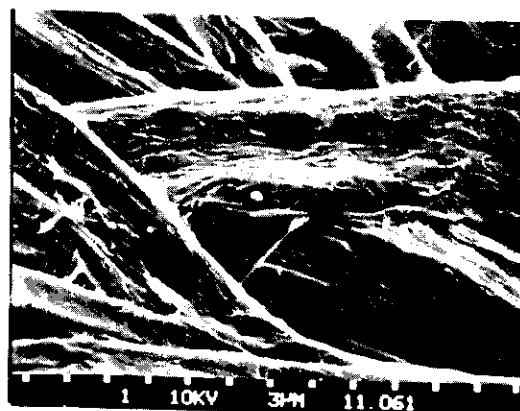


Figura 17 -Celulose de eucalipto 5 minutos de refinação em Valley beater-1800X

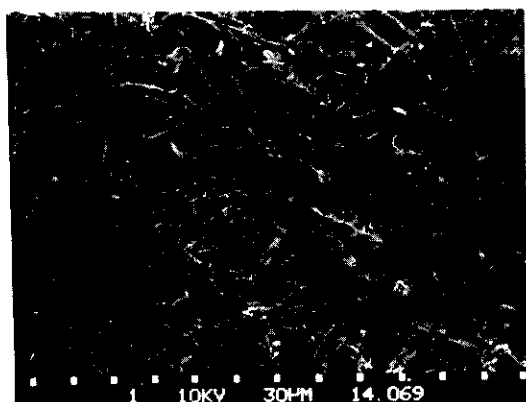


Figura 18- Celulose de eucalipto 30 minutos de refinação em Valley beater -180X

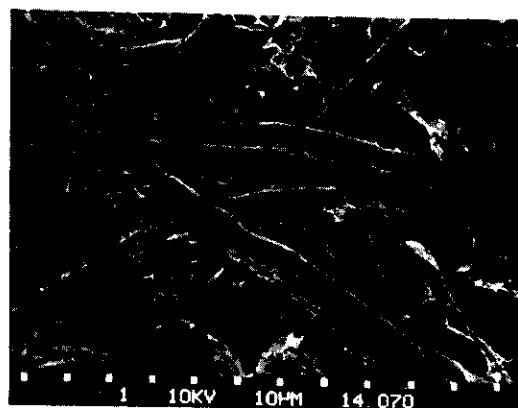


Figura 19-Celulose de eucalipto 30 minutos de refinação em Valley beater -600 X

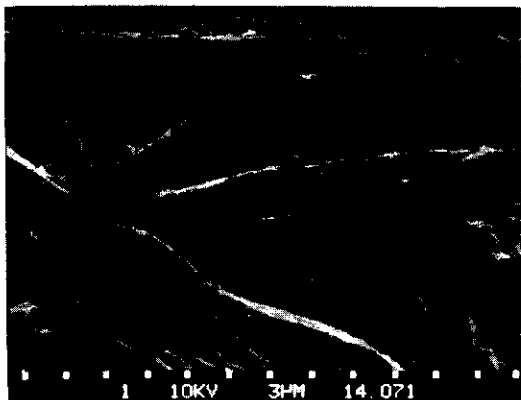


Figura 20- Celulose de eucalipto
30 minutos de refinação em Valley
beater -1800 X

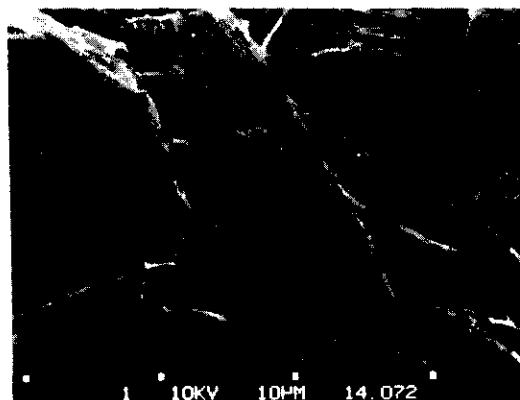


Figura 21- Celulose de eucalipto
30 minutos de refinação em Valley
beater -1800 X

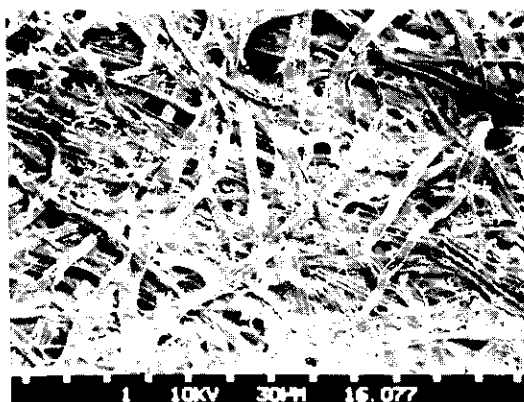


Figura 22- Celulose de eucalipto
60 minutos de refinação em Valley
beater -180 X

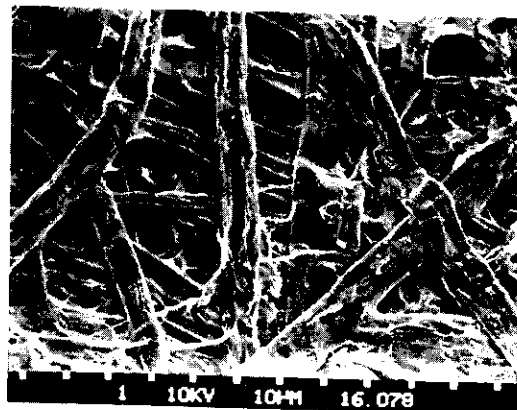


Figura 23- Celulose de eucalipto
60 minutos de refinação em Valley
beater - 600 X

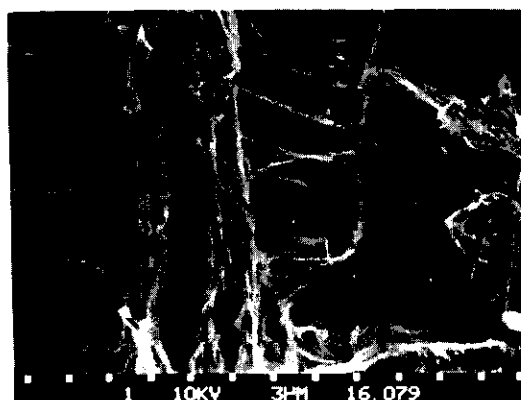


Figura 24- Celulose de eucalipto
60 minutos de refinação em Valley
beater -1800 X

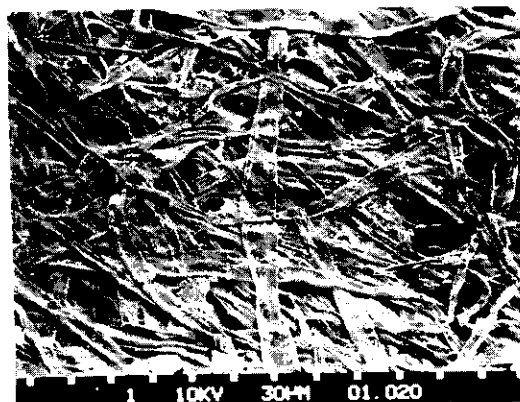


Figura 25- Celulose de Gmelina
sem refinação - 180 X

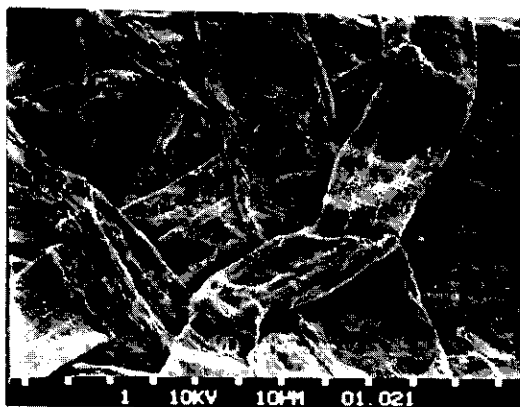


Figura 26 - Celulose de Gmelina
Sem refinação-600 X

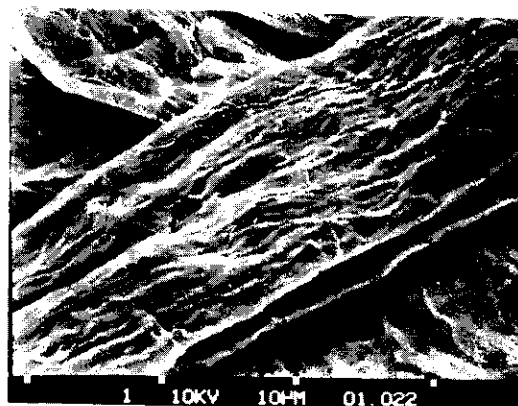


Figura 27- Celulose de Gmelina
sem refinação-1800 X

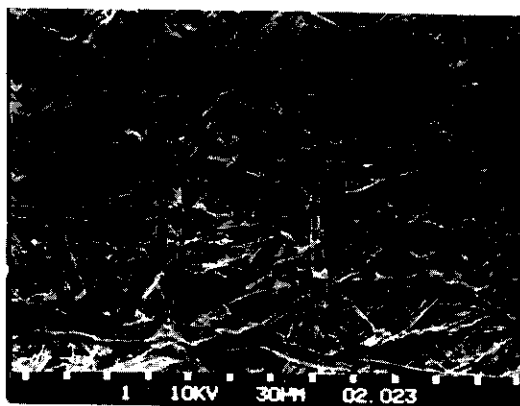


Figura 28- Celulose de Gmelina
5 minutos de refinação em Valley
beater-180 X

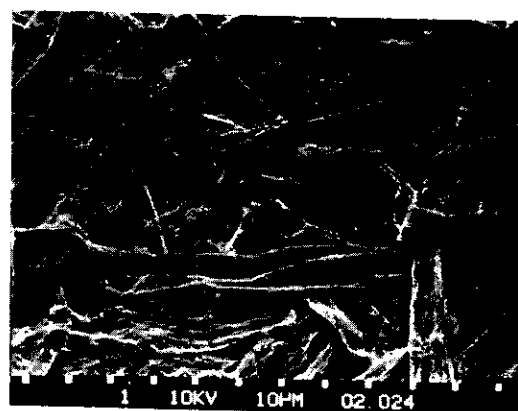


Figura 29- Celulose de Gmelina
5 minutos de refinação em Valley
beater-600 X

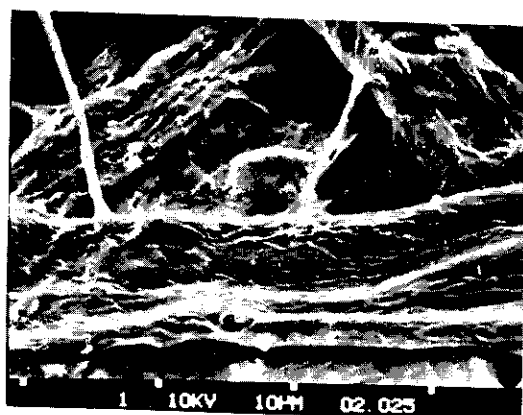


Figura 30 - Celulose de Gmelina
5 minutos de refinação em Valley
beater -1800 X

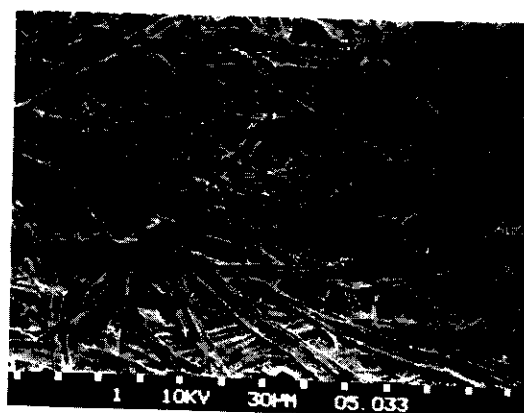


Figura 31- Celulose de Gmelina
30 minutos de refinação em Valley
beater-180 X

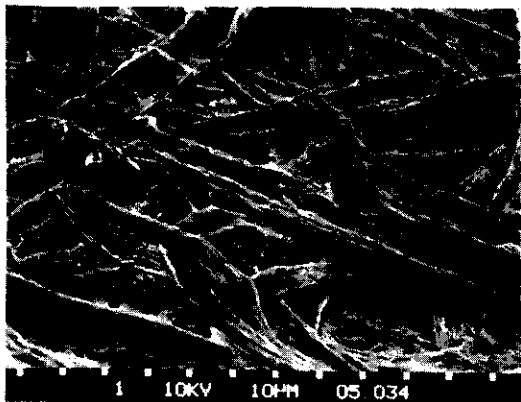


Figura 32- Celulose de Gmelina
30 minutos de refinação em Valley
beater -600 X

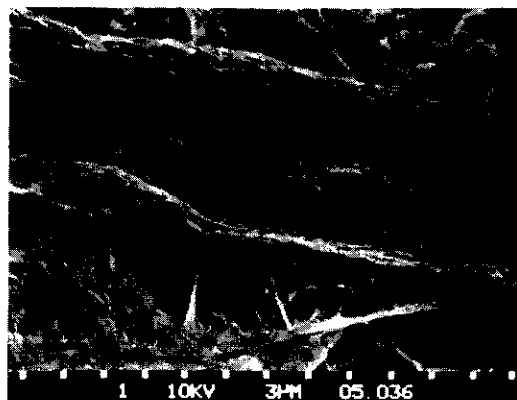


Figura 33- Celulose de Gmelina
30 minutos de refinação em Valley
beater -1800 X

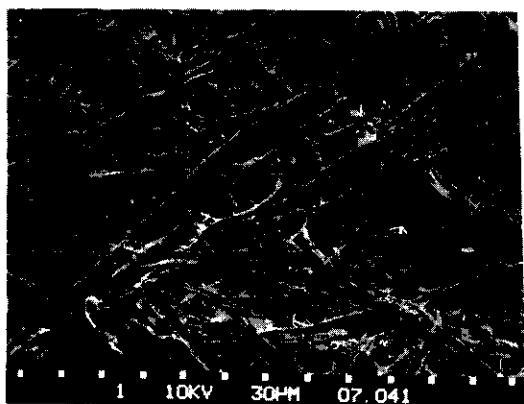


Figura 34- Celulose de Gmelina
60 minutos de refinação em
Valley beater -180 X

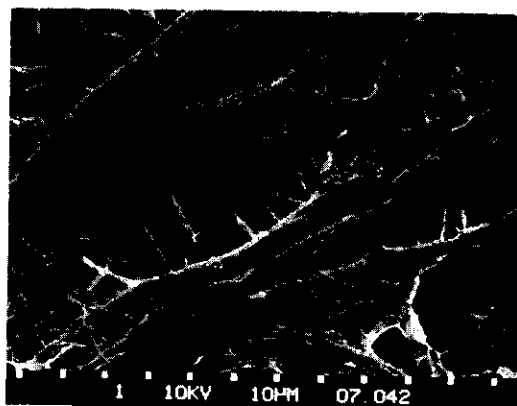


Figura 35- Celulose de Gmelina
60 minutos de refinação em
Valley beater-600 X

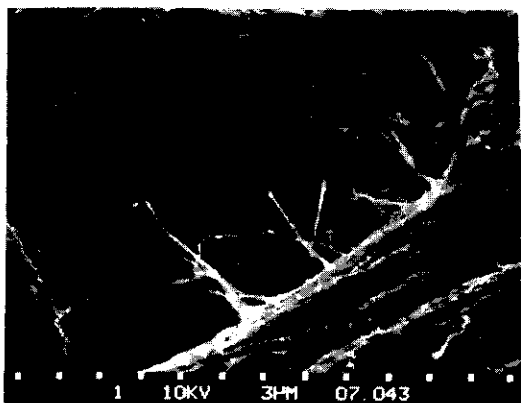


Figura 36 - Celulose de Gmelina
60 minutos de refinação em
Valley beater - 1800 X

4. Discussão dos resultados.

4.1. Dimensões das fibras.

Baseando-se nas dimensões das fibras, a celulose de Eucalyptus grandis teria a maior resistência à tração, a de Gmelina arborea a maior resistência ao rasgo e a Celulose de bétula teria o menor potencial de resistência devido às dimensões de seus elementos.

Os resultados de resistência mostraram que a refinação é mais importante do que as propriedades morfológicas das fibras para obter-se um papel forte. Uma celulose com bom potencial de coesão e boa resistência intrínseca produzirá papéis fortes independente das dimensões de suas fibras, se a refinação for adequada.

4.2. Facilidade de refinação.

A celulose de bétula apresentou a maior facilidade de refinação, seguida da celulose de gmelina.

A estrutura da celulose de bétula sem refinação não é colapsada, como a de celulose de gmelina, mas apresenta fibrilas livres. A madeira de bétula tem muitas hemi celulosas que se dissolvem no cozimento, e as fibras não ficam compactadas na estrutura da parede. A coesão entre as fibras sem refinação aumenta muito quando a formação é sob pressão devido a ligações interfibrilares (caso do formador 1). Com a refinação, as fibras se desprendem com facilidade da parede celular, aumentando a coesão, a área de contacto entre as fibras e a resistência à tração.

A celulose de gmelina tem a fibra colapsada e boa ligação entre fibras mesmo sem refinação. A remoção da camada S_1 é fácil e com pouca refinação começa a ligação entre fibrilas ao nível da camada S_2 .

A celulose de eucalipto é de refinação mais difícil por que a resistência à tração depende de coesão entre fibras e compactabilidade.

Alguns refinadores precisam gastar mais tempo ou energia para aumentar a área de ligação e a resistência à tração do eucalipto. A parede da célula é resistente ao colapso e desfibramento: consequência do ângulo das fibras na camada S_2 (3).

4.3. Avaliação da resistência adquirida na refinação.

A avaliação da resistência adquirida pela celulose em diferentes refinadores é feita pela comparação numérica entre os índices de qualidade da resistência para o mesmo grau de refinação.

Escolhe-se então o mecanismo de refinação mais adequado para o material.

A comparação entre celulosas diferentes mostra, a partir da resistência intrínseca e da coesão de cada uma, como obter produtos equivalentes com matérias primas diversas.

Mostra também o que pode ser aperfeiçoado em cada estrutura para um melhor produto final.

O quadro 3 explica as interações entre os refinadores e as celulosas.

CELULOSE	REFINADOR	A	B	C	D	E
	TIPO	PFI	JOKRO	VALLEY	VALLEY	VALLEY
	Efeito-Propriedade					
	Corte	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco	-
	Delaminação interna	Pouca até 30%SR-Pro-nunciada após 30%SR	Começa antes dos 30 %SR	Pequena até 30%SR aumenta depois	Pronunciada desde 30 %SR.	
	Delaminação externa	Fácil e abundante	Fácil e abundante	Menor que em A,B e C	Fácil	
	Compressão longitu-dinal	Pronunciada	Pronunciada	Menor que em A,B e C	Pronunciada	
	Finos	Moderada	Pouca a moderada	Moderada	Maior que A,B e C	
	Compactabilidade ú-mida	Aumenta rapidamente	Aumenta rapidamente	Aumenta menos que A e B	Aumenta rapidamente	
	Coesão	Aumenta rapidamente Elevada a 30 %SR	Aumenta rapidamente Elevada a 30 %SR	Aumenta menos que A,B e C.Elevada a 30 %SR	Aumenta rapidamente elevada a 30 %SR	
	Resistência intrín-seca da parede	Elevada até 30 %SR Decresce depois	Já alterada por de-laminação a 30 %SR	Elevada até 30%SR-De-cresce depois menos que em A,B e C	Já alterada por de-laminação a 30%SR.	
	Corte	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco
	Delaminação interna	Pequena	Pequena	Pequena	Pequena	Pequena, maior que A,B,C,D
	Delaminação externa	Moderada	Moderada	Menor que A,B,D e E	Moderada	Moderada
	Com pressão longitu-dinal	Moderada	Maior que A e B	Moderada	Maior que A,B,C e E	Menor que A,B,C e D
	Finos	Poucos	Poucos	Poucos	Poucos	Poucos
	Compactabilidade ú-mida	Aumenta menos que para bétula e Gmelina	Aumenta menos que para bétula e Gmelina, mais que para A e C	Aumenta menos que para bétula e Gmelina	Aumenta menos que para bétula e Gmelina	Aumenta menos que para bétula e Gmelina.
	Coesão	Moderada até 30%SR, boa a 40%SR	Moderada a 30%SR, boa a 40%SR	Fraca a moderada a 30%SR Moderada a 40%SR	Moderada a 30%SR, boa a 40 %SR	Moderada a 30 %SR boa a 40 %SR.
	Resistência intrín-seca da parede	Elevada	Elevada	Moderada a elevada	Moderada a elevada	Moderada
	Corte	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco
	Delaminação interna	Pouca até 30%SR -Pro-nunciada após 30%SR	Moderada desde 30%SR	Pouca até 30%SR-aumen-ta depois	Pronunciada desde 30%SR	Pronunciada desde 30%SR.
	Delaminação externa	Fácil e abundante	Fácil e abundante	Menor que em A,B,D e E	Menor que em A,B e E	Fácil e abundante
	Compressão Longitu-dinal	Moderada	Pronunciada	Moderada	Pronunciada	Pronunciada
	Finos	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
	Compactabilidade ú-mida	Aumenta rapidamente	Aumenta rapidamente	Aumenta menos que em A e B	Aumenta rapidamente	Aumenta rapidamente
	Coesão	Aumenta rapidamente elevada a 30%SR	Aumenta rapidamente elevada a 30%SR	Moderada a boa a 30%SR boa a 40%SR	Moderada a 30%SR boa a 40%SR	Aumenta rapidamente elevada a 30%SR
	Resistência intrín-seca da parede	Elevada até 30%SR Decresce depois de 40%SR	Elevada a moderada até 30%SR-Decresce depois	Elevada a moderada até 30%SR-Decresce depois	Moderada a 30%SR	Moderada a 30%SR

Trabalho apresentado no XVII Congresso Anual da ABCP - Semana do Papel, realizado em São Paulo - Brasil de 19 a 23 de Novembro de 1984.

4.4. Celulose de bétula.

As paredes das fibras da celulose de bétula sem refinação não são colapsadas.

Como suas fibrilas não são compactadas e a camada S_1 é frágil o desfibrilamento da camada S_2 é rápido. A coesão entre as fibras aumenta e aumenta a resistência à tração. Com a continuação da refinação há fibrilização completa ou delaminação da camada S_2 , perda de resistência intrínseca e de resistência ao rasgo. Essa delaminação ocorre em menor escala em refinadores que não amassam a parede celular (A, D), onde a perda de resistência é pequena ou inexistente.

Os melhores resultados de resistência para celulose de bétula são obtidos com refinadores sem muita pressão e com consistência elevada, para favorecer o desfibramento por atrito, fibra a fibra. Aí o grande potencial de desfibrilamento e coesão da parede da célula é aproveitado sem que haja delaminação e quebra da parede celular com perda de resistência intrínseca.

O melhor equilíbrio de resistências foi obtido a 30%SR. Maior grau de refinação aumenta um pouco as resistências à tração e ao estouro, mas em prejuízo do rasgo.

A maioria das celuloses de bétula possui fibras de pinho. Nesse caso também é preferível refiná-la com alta consistência, elevado atrito entre fibras e baixa pressão para que aumente a área de contacto entre as fibras e não haja corte e perda de resistência nas fibras de pinho componentes.

No caso de bétula recomenda-se uma pequena área de facas em relação às fibras (área específica de corte), já que o contacto fibra/faca deve ser evitado para evitar excesso de delaminação na fibra.

4.5. Celulose de eucalipto.

O colapso da parede das fibras do eucalipto é difícil devido a estrutura da camada S_2 que é mais rígida que nas outras celulose.

Como consequência temos elevada resistência intrínseca e resistência ao rasgo, e gasto de energia para obter-se uma coesão adequada para uma boa resistência à tração.

As fibrilas do eucalipto são bem entrelaçadas e a menos que haja gasto de energia ou corte, elas não se destacam da parede celular. A estrutura absorve os impactos e não se desfaz facilmente por desfibrilamento ou delaminação.

Mesmo após longo tempo de refinação grande parte das células mantêm a conformação inicial. A delaminação das camadas internas ocorre em pequena escala e não produz perda de resistência intrínseca com a refinação, dentro do intervalo considerado.

Nos casos analisados a 30%SR a coesão entre as fibras (e a resistência à tração) foram regulares e a resistência ao rasgo boa.

A 40%SR a coesão e a resistência intrínsecas foram boas e tivemos melhores resultados em todos os ensaios.

A resistência da celulose de eucalipto aumenta quando a folha é formada sob pressão, por que aumentam os pontos de coesão e a área de ligação entre as fibras.

A superfície da fibra do eucalipto parece ser resistente ao desfibrilamento. Nesse caso recomenda-se aumentar a relação área da faca/área de fibra (área específica de refinação) para melhorar o desfibrilamento da parede celular. Microranhuradas nas facas, consistências elevadas e aumento de pressão de refinação também ajudarão a desfibrilação e coesão.

A melhor combinação existência à tração x resistência ao rasgo para o Eucalipto analisado ocorreu a 40 °SR.

4.6. Celulose de Gmelina.

As paredes de celulose de gmelina estudada se apresentam colapsadas mesmo sem refinação.

Há uma grande coesão entre as fibras devido suas características morfológicas. A área de ligação entre as fibras não aumenta sob pressão, o que indica que não existem fibrilas soltas em sua estrutura. Tem boa resistência intrínseca.

A camada S1 é removida facilmente por refinação, expondo a camada S2 e aumentando as ligações fibra a fibra.

Há desfibrilamento interno e externo, delaminação de camadas e corte durante o processo.

A estrutura da fibra parece ser menos rígida que a de eucalipto mas mais rígida que a bétula. Com pouca refinação a coesão de fibra vizinhas a nível de camada S2 é muito boa. Refinação com pressão excessiva provocou a delaminação das camadas.

Os melhores resultados de resistência para a celulose de gmelina foram os obtidos entre 25 e 30° SR. A pressão de refinação deve ser mínima, usando-se o atrito entre as fibras e evitando o esmagamento das paredes celulares e a delaminação.

O desfibramento de camada S2 ocorre facilmente, não sendo necessário haver uma grande área específica das facas para aumento de coesão entre as fibras.

A melhor refinação para essa amostra de celulose de gmelina parece ser com baixa pressão de refinação, alta consistência e pequena área específica de refinação.

Experiências feitas com celuloses de gmelina de viscosidade mais alta e portanto maior resistência intrínseca não apresentaram delaminação pronunciada das camadas com a refinação.

Uma diferença na viscosidade e portanto na estrutura da parede e na resistência específica alterará o tratamento indicado para obter-se as condições ótimas da celulose. Cada caso deve ser avaliado separadamente.

Conclusão.

A estrutura e a resistência do papel resultam do equilíbrio entre o tipo de refinação empregada e as propriedades básicas da celulose.

Conhecendo-se as relações dinâmicas entre resistência, propriedades básicas e refinação pode-se adequar o tratamento para produzir o resultado ótimo.

As fórmulas de qualidade de resistência propostas são úteis no planejamento da refinação.

As três amostras de celulose estudadas apresentam características de refinação distintas:

- Celulose de bétula - Fibras não compactadas e semi-rígidas: grande capacidade latente de coesão entre fibrilar e de delaminação de camadas.

Deve ser refinada com consistência alta, baixa área específica de facas pouca pressão para evitar a queda de rasgo consequente da delaminação de camadas.

- Celulose de eucalipto - Fibras rígidas, boa resistência intrínseca, capacidade latente de coesão e de compactação pequena. Deve ser refinado com consistência alta, elevada área específica de facas e pressão para aumentar a coesão e compactação.

- Celulose de gmelina - Fibras flexíveis, grande capacidade latente de coesão e de compactação entre as fibras. Deve ser refinado a consistência alta, com atrito entre fibras e pressão baixa para a desfibrilação externa das camadas.

- Mudanças da viscosidade e/ou da resistência específica da matéria prima podem alterar a pressão necessária para o aumento da coesão entre as fibras.

- A resistência mecânica do papel depende mais das propriedades estruturais de celulose do que das dimensões das fibras. A resistência ao rasgo não abaixará se não houver delaminação, escorregamento de camadas e perda de resistência intrínseca.

Pode ser planejado um tipo de refinação para a celulose de pinho que só provoque a sua delaminação externa, com um aumento da área específica e das microranhuradas, alta consistência e pressão moderada.

Havendo aumento na coesão e compactação entre as fibras sem delaminação das paredes a celulose do pinho terá resistência ao rasgo mais alta.

Resumo.

É descrito o mecanismo de refinação de três celulosas de folhas: bétula, eucalipto e gmelina. O processo de refinação é comparado usando-se um refinador PFI, um refinador Jokro e três refinadores Valley beater. A comparação é feita pela intercalação dos resultados dos ensaios físicos mecânicos da folha com o desenvolvimento, pela refinação, das propriedades básicas da celulose: coesão, resistência intrínseca da fibra, e compactabilidade úmida.

Conclui-se que a refinação de bétula deve ser planejada para aproveitar a coesão entre suas fibras e evitar a delaminação das paredes, a de eucalipto para aproveitar a resistência intrínseca das paredes e aumentar a coesão e a de gmelina para aproveitar a coesão e a compactação próprias do material.

É sugerido que a refinação de pinho pode ser planejada para evitar a delaminação da parede que implica na perda de resistência ao rasgo. 2 quadros, 8 tabelas, 1 figura, 35 fotografias em microscópio eletrônico.

7. Bibliografia

1. James d'A. Clark - Pulp Technology and Treatment of Paper
Miller Freeman Publications Inc 1978.
2. Soili Heitanen, Kari Ebeling -Homogeneity in Refining
Action: Effects on Fiber and Paper Structure - TAPPI
1983 International Paper Physics Conference.
3. E. Cláudio de Silva, Jr - The Flexibility of Pulp
Fibers-A Structural approach - TAPPI -1983 International
Paper Physics Conference.

7. Bibliografia.

1. James d'A. Clark - Pulp Technology and Treatment of Paper - Miller Freeman Publications Inc 1978
2. Soili Heitanen, Kari Ebeling - Homogeneity in Refining Action: Effects on Fiber and Paper Structure - TAPPI-1983 International Paper Physics Conference.
3. E. Claudio de Silva, Jr - The Flex,ibility of Pulp Fibers - A Structural approach TAPPI - 1983 International Paper Physics Conference.