

FABRICAÇÃO DE PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

*Professor: Alfredo Mokfienski
Consultor Independente*

Arapotí, PR, agosto 2006

Realização
Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

FABRICAÇÃO DE PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Conteúdo

- Introdução a polpação PAR
- Tipos de Polpas de Alto Rendimento (PAR)
 - Processos de fabricação
 - Pasta mecânica de rebolo (SGW)
 - Pasta termomecânica (TMP)
 - Pasta quimimecânica (CMP)
 - Pasta quimitermomecânica (CTMP e variantes)
 - Comparação de Polpa Química com PAR
 - Usos das polpas

Introdução

Polpação Mecânica

- Ação muito mais mecânica do que química e térmica para liberar as fibras da matriz lenhosa

Polpação Química

- Ação muito mais química e térmica para dissolver a lignina e liberar as fibras unidas na matriz lenhosa.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Introdução

- Características e propriedades das pastas mecânicas
 - As condições de polpação afetam a maneira como a matriz é desfibrada e como as fibras são separadas uma das outras.
 - Shive, fibras, pedaços de fibra e finos são formados já durante a fase de desfibramento.
 - As condições iniciais do desfibramento (p.ex., SEC) determinam características e qualidade da pasta.
- Testes gerais (outros podem ser exigidos caso a caso):
 - Classificação das fibras: Bauer-McNett (TAPPI T 233)
 - Drenabilidade da pasta (Freeness): CSF (TAPPI T 227)
 - Teor de Shives: Somerville (TAPPI T 275) com ranhuras 150µm.
 - Preparação de pasta para teste TAPPI T 262
 - Preparação de folhas para teste: TAPPI T 205
 - Procedimentos para testes físicos: TAPPI T 200
 - Alvura e Opacidade: TAPPI 425 e TAPPI 452

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Introdução

Exemplo de acompanhamento do processo de polpação
Comparação de propriedades entre polpas (PAR)

	SGW	RMP	TMP
Energia requerida (MWh/t)	1,4	1,8	1,9
Drenabilidade (CSF, ml)	100	130	100-150
Índice de Estouro	1.2	1.6	1.8-2.4
Índice de Rasgo	3.5	6.8	7.5-9.0
Compr. de rotura (km)	3.2	3.5	3.9-4.3
Teor de Shive (%)	3	2	0.5
Teor de fibra longa (R48)	28	50	55
Teor de finos (P100)	50	38	35
Alvura (não-branq.), % ISO	61.5	59	58.5

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Introdução

- Pasta de Alto Rendimento (PAR) é produto resultante de processo de polpação onde praticamente todos os componentes originais da madeiras são retidos. A eficiência do processo, ou rendimento em termos de peso de polpa produzida por peso de madeira seca consumida é superior a 80%.
- Dado que a madeira é o componente de maior custo unitário (R\$ / t ou m³) na composição do custo variável de fabricação das polpas (em geral), as PAR são polpas economicamente atrativas pelo seu alto rendimento.
- Uma linha de produção pode ser de pequena escala (t/dia).
- As PAR podem, em muitos casos, substituir uma parte das polpas químicas mais caras em certos tipos de papéis sem perda significativa seus atributos de qualidade (resistência, alvura, opacidade, bulk, etc.)

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Tipos de Pasta de Alto Rendimento (PAR)

Método de Produção			Denominação	Descrição
Somente Mecânico	Alta Temperat.	Com Químicos		
GWP (SGW)			(Stone) Groundwood Pulp	Logs de madeira são "ralados" à pressão atmosférica
	TGW		Thermo groundwood	Refino sob leve aumento de pressão, gerada pelo nível de spray da água
	PGW		Pressure groundwood	Refino sob pressão de aprox. 3 bar e a um spray de água a cerca de 100°C

Kappel, 1999 citado por Pavan

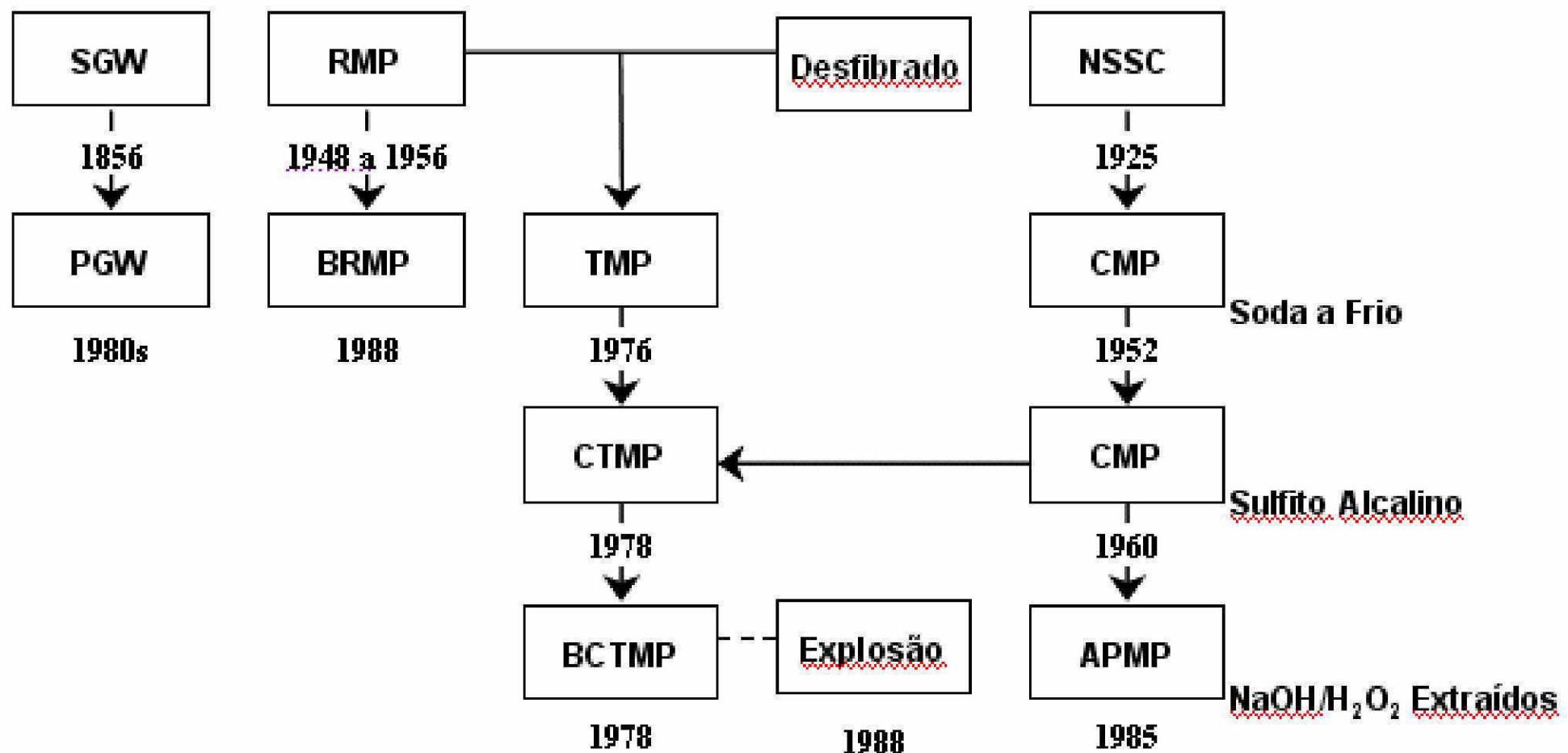
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Tipos de Pasta de Alto Rendimento (PAR)

Somente Mecânico	Alta Temperat.	Com Químicos		Polpa Mecânica de Refinador
RMP			Refiner Mechanical Pulp	Refino de cavacos à pressão atmosférica em refinador (a disco)
	TMP		Thermomechanical Pulp	Pré-tratamento térmico e refino (1º e às vezes 2º estágio) de cavacos sob pressão
	RTS™		Retention Time, Temperature and Speed	Pré aquecimento muito rápido dos cavacos a alta temperatura e refino a alta veloc.
	CMP		Chemi-Mechanical Pulp	Pré tratamento dos cavacos, geralmente com NaOH e Na ₂ SO ₃ , e então refino atmosférico
	CTMP		Chemithermomechanical Pulp	Mesmo pré tratamento da CMP, mas c/ carga inferior de químico e refino pressurizado
	BCTMP		Bleached CTMP	CTMP branqueada com peróxido em um ou dois estágios
	APMP™		Alkaline Peroxide Mechanical Pulp	Pré tratamento dos cavacos, com NaOH e H ₂ O ₂ , seguido do refino
	APP		Alkaline Peroxide Pulp	Semelhante à APMP, c/ remoção de metais pesados antes do tratamento c/ NaOH / H ₂ O ₂

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Desenvolvimento histórico e inter-relações entre as diferentes polpas mecânicas. (KAPPEL, 1999)



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Atratividade das PAR

Fatores a serem considerados num projeto:

- Disponibilidade e custo da madeira apropriada
- Demanda de mercado de papeis diversos que podem ter a participação de PAR
- Tipo e qualidade desejada da PAR (propriedades físicas, óticas, etc.)
- Processo e custo de branqueamento
- Disponibilidade de água
- Consumo de água (lavagens, etc.) e carga de efluente
- Geração de vapor ou adoção de recuperação de calor
- Custo de investimento (US\$ por ton x produção)

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE PAR

Parte 1 - Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

- Introdução
- Fluxograma
- Equipamento
- Controle de processo
- Usos

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Introdução

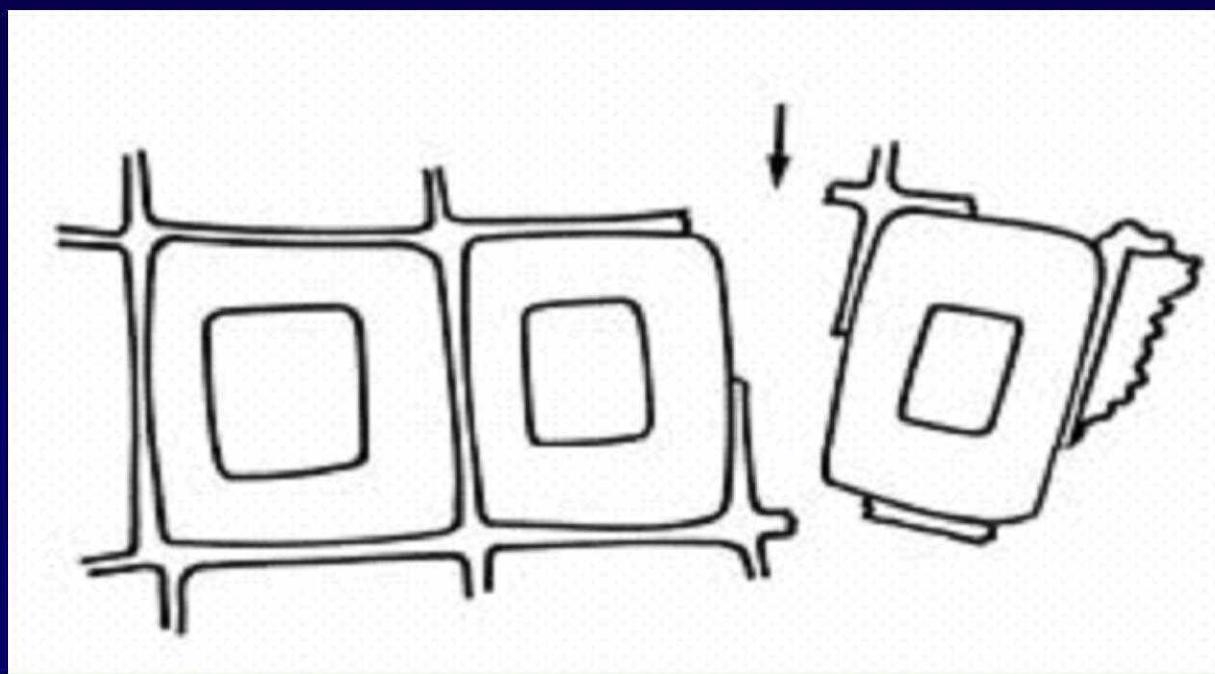
Polpação Mecânica de Rebolo (SGW)

- O processo de Pasta Mecânica de Rebolo (SGW) – polpação em larga escala desde 1840. Toras de madeira forçadas contra pedra cilíndrica rotativa, áspera, de grande diâmetro e abrasiva que desfibrira a madeira por fricção.
- Material fibroso, resultante do desfibramento, passa por um estágio de depuração onde estilhas, feixes de fibras (shives) e outros materiais indesejáveis são removidos e refinados.
- Em algumas fábricas, a polpa depurada passa por um estágio de branqueamento para aumentar sua alvura.
- Progressivamente substituído por processos mais modernos.¹²

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Polpação Mecânica de Rebolo (SGW)

- A fricção do rebolo desfibrira aleatoriamente a matriz lenhosa da madeira promovendo corte e maceração resultando numa fração de fibras longas e uma fração de finos.
- A composição química da pasta não é alterada significativamente. A lignina que une as fibras (celulose, hemiceluloses, extractivos e minerais) permanece na pasta dando rendimento > 95%.



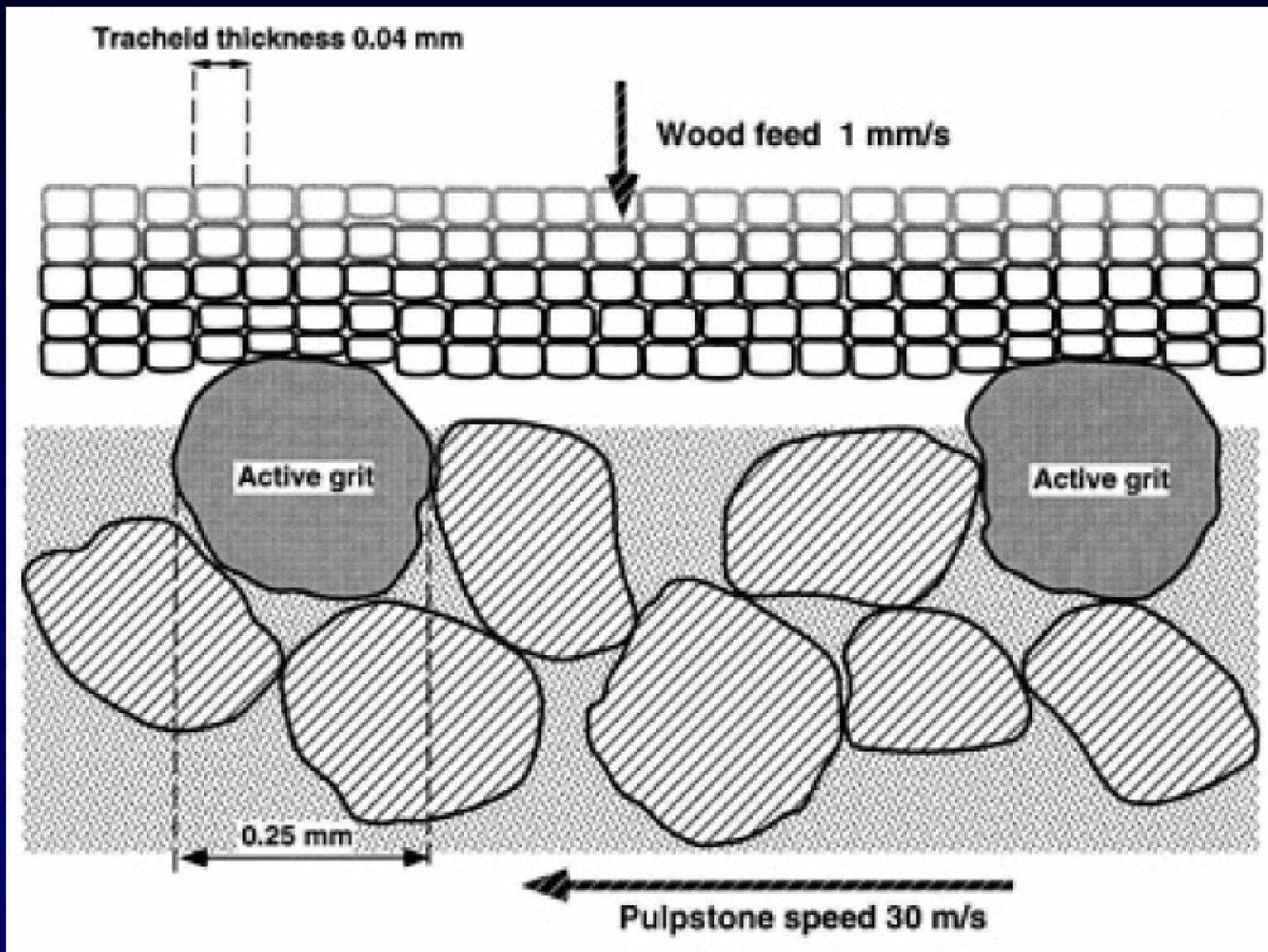
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Mecanismo da Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

- Na produção de PAR-SGW, a madeira é submetida a forças de várias magnitudes e durações que deformam os constituintes fibrosos.
- A madeira é um corpo visco-elástico e sua resposta ao tratamento mecânico é afetada por temperatura, umidade e duração da ação tornando-a mais ou menos macia ou rígida.
- A intensidade e número de impactos leva a madeira além de seu regime plástico deformando-a e desfibrando-a.
- No tratamento mecânico, ocorre primeiramente um estraçalhamento e amolecimento da madeira seguido de remoção das estruturas soltas.
- No mesmo processo de desfibramento, melhores polpas demandam maior consumo de energia, fenômeno que pode ser atenuado por a) temperaturas mais altas (PGW e PGW-S), b) menor frequência de impactos (<velocidade do rebolo) e deformações de maior amplitude (dependente da afiação da pedra).

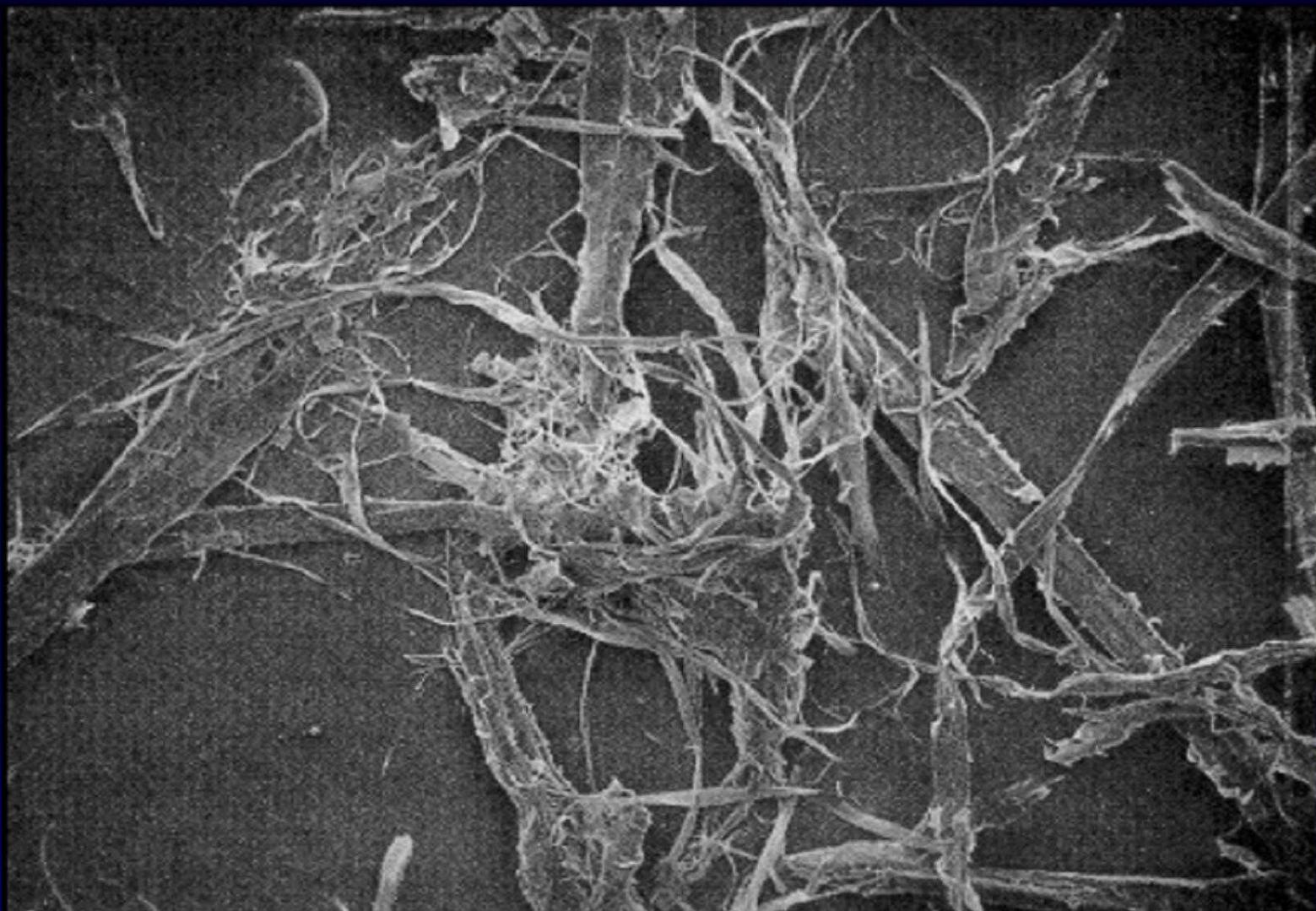
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Mecanismo do desfibramento da madeira via rebolo



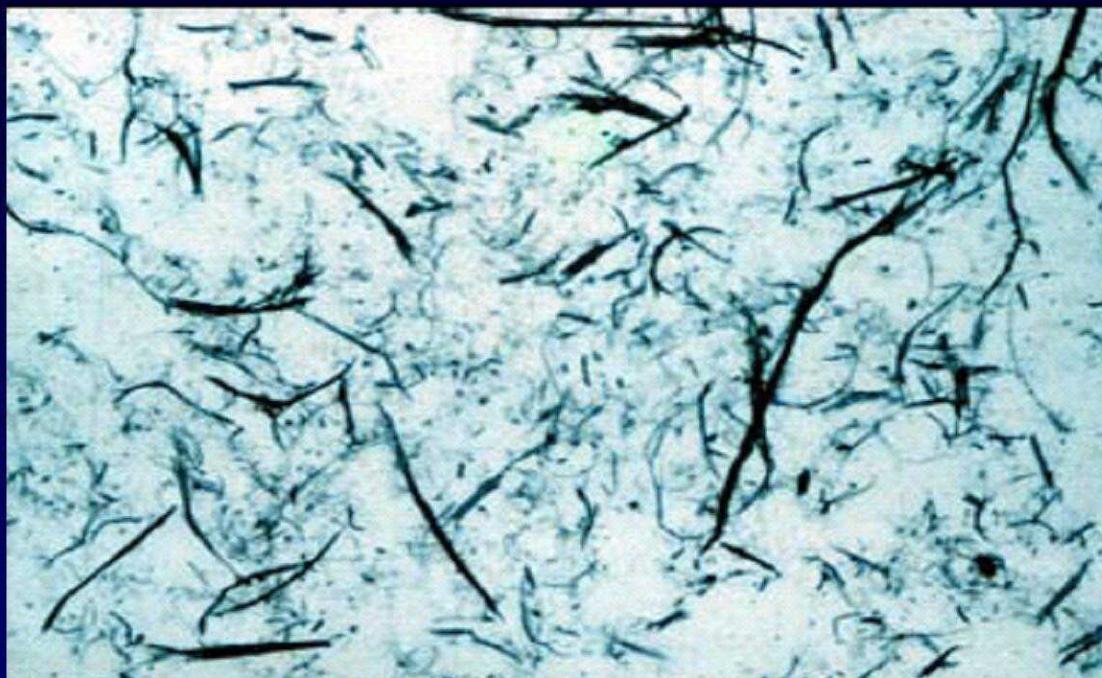
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Fibras vistas após polpação e lavagem



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Fibras inteiras, cortadas e finos resultantes da ação mecânica

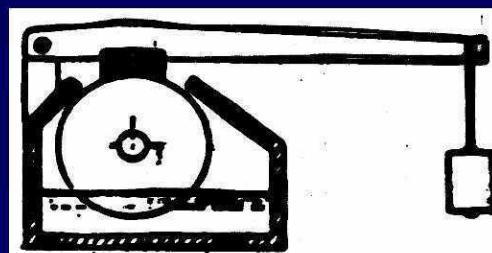
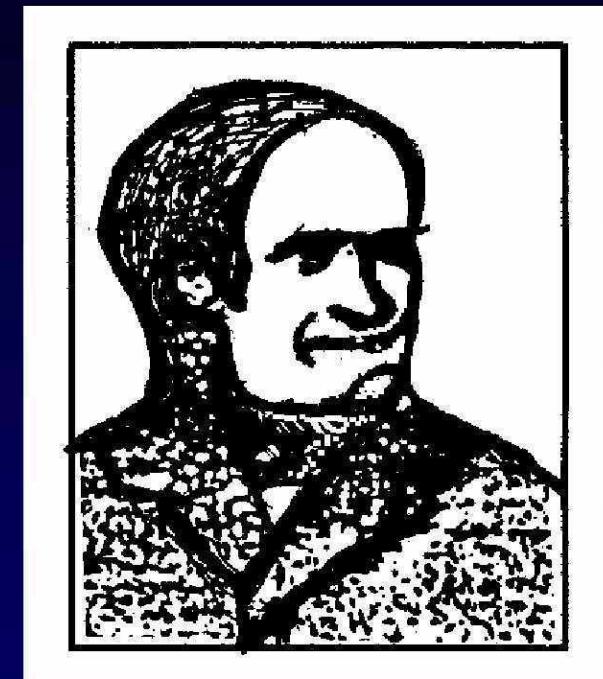


- Teor de frações diversas de material fibroso resultante da ação do processo são medidas por fraccionamento no aparelho tipo Bauer-McNett.
- Drenabilidade ou Freeness (resistência a passagem de água) medida em °SR (graus Schopper-Rigler) ou em CSF, ml (ml de Canadian Standard Freeness).

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

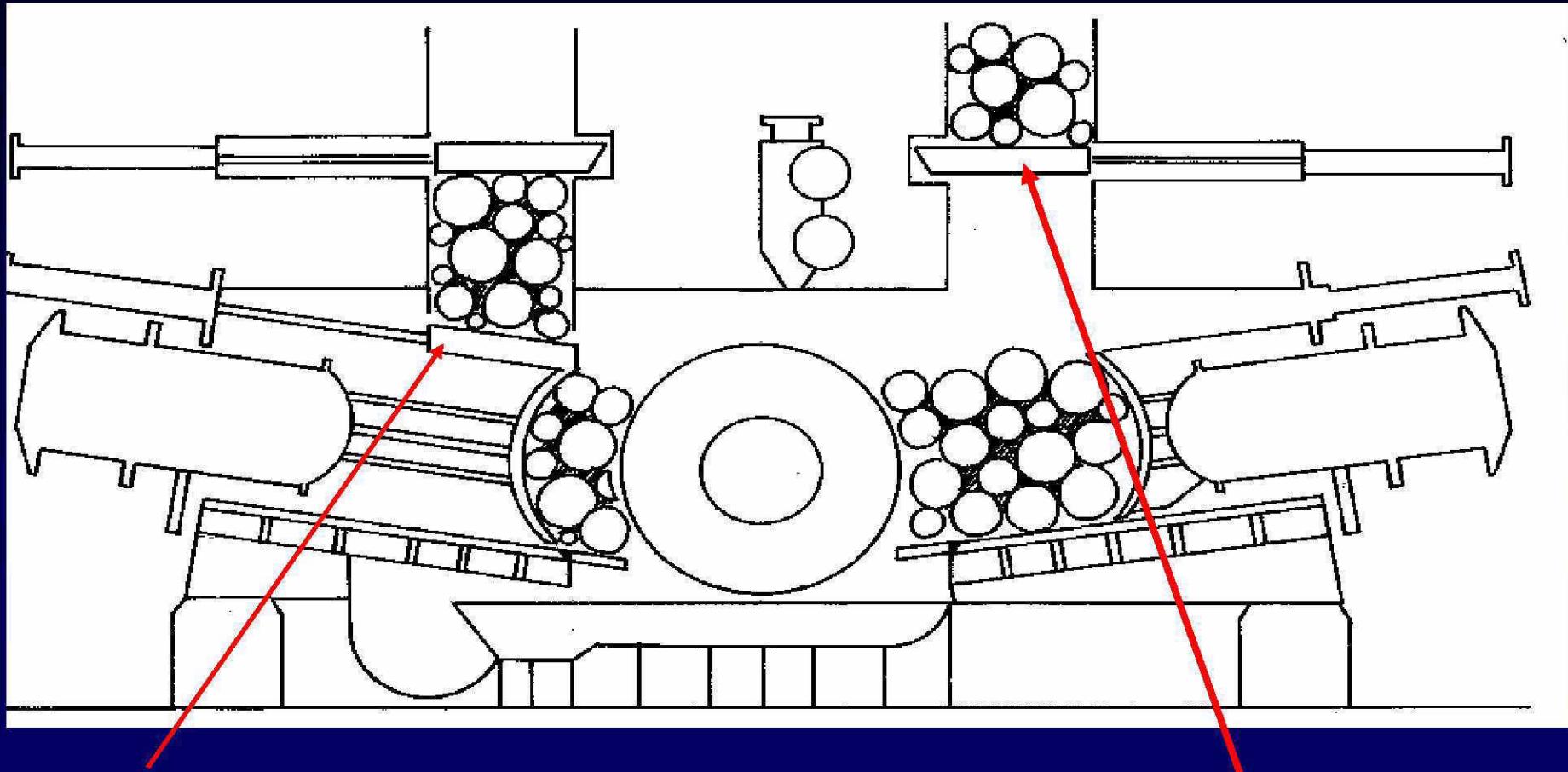
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

- Keller: primeira pasta (1843)
- Primeiros equipamentos
- Voith e seus desfibradores
- Desenvolvimento tecnológico
- Desfibradores e outros equipamentos



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de Rebolo (PGW) Pressurizado

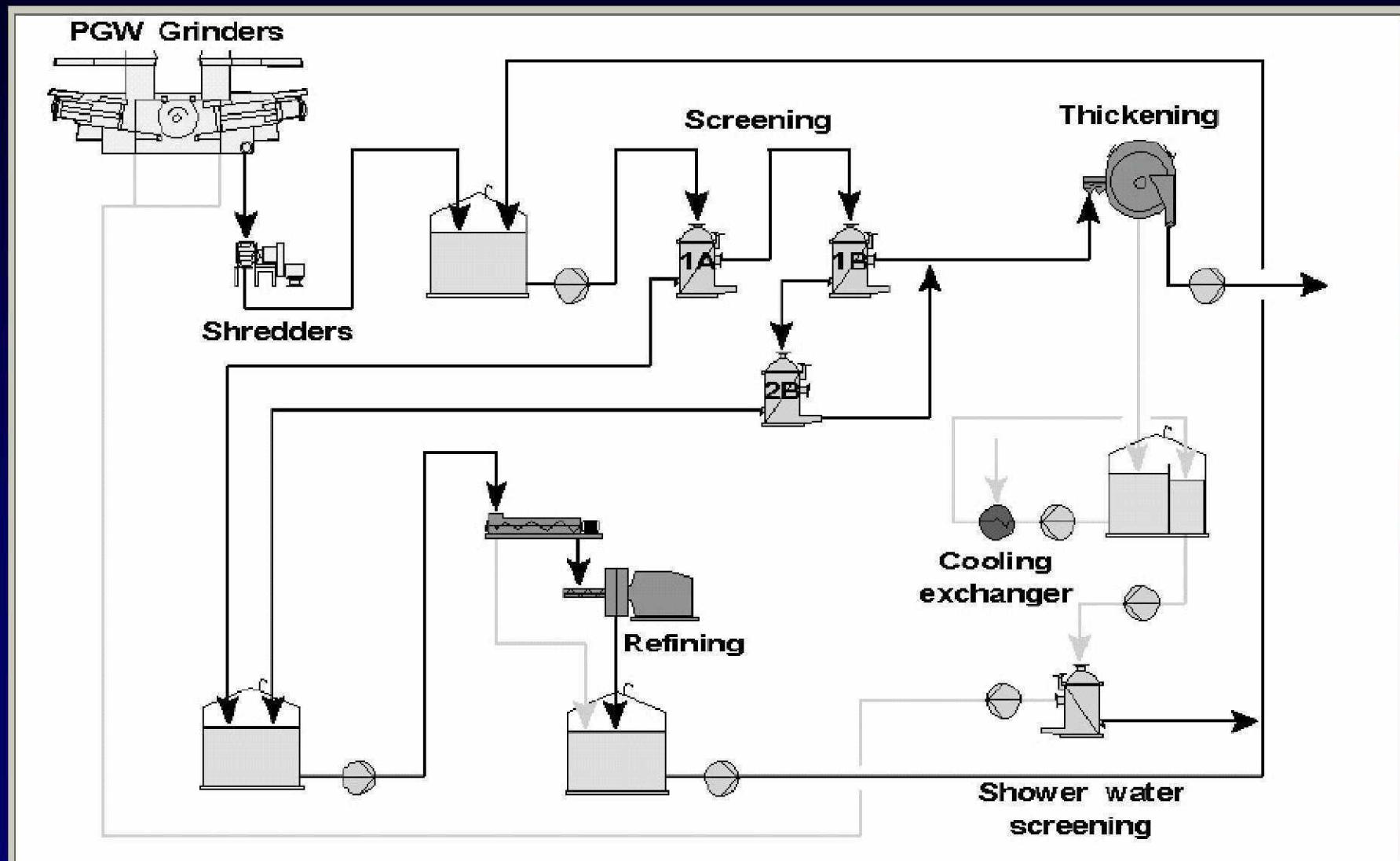


**COMPORTA
PRESSURISADA
INFERIOR**

**COMPORTA
SUPERIOR**

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW) Fluxograma típico

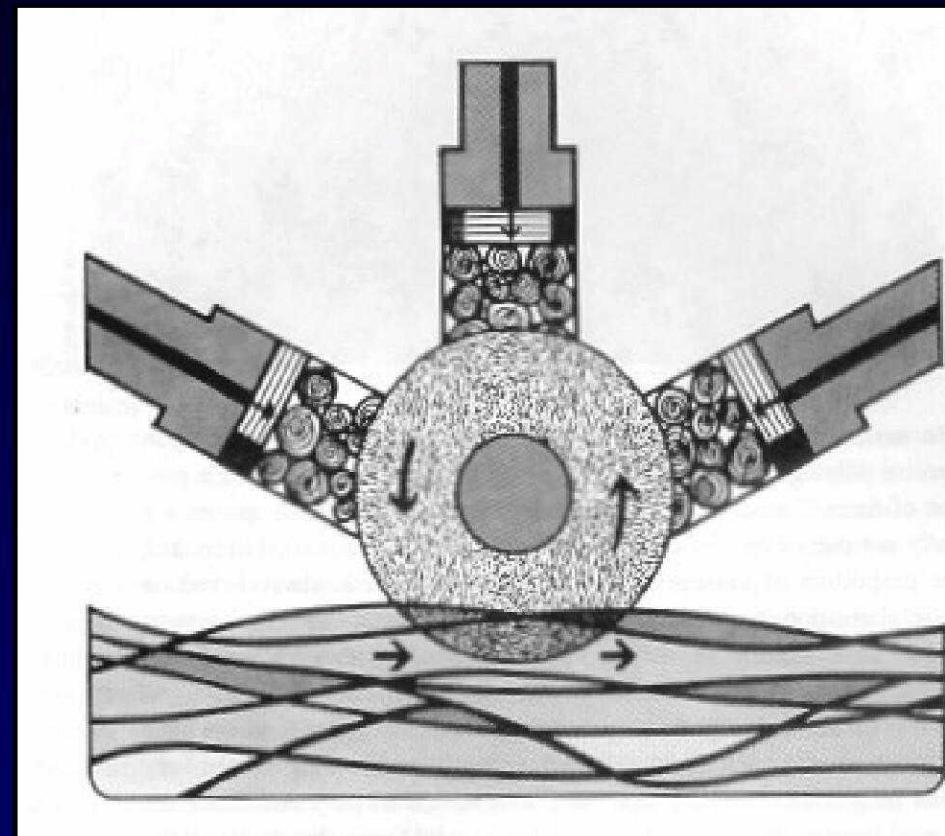


Ref.: Jan Sundholm, 1999

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

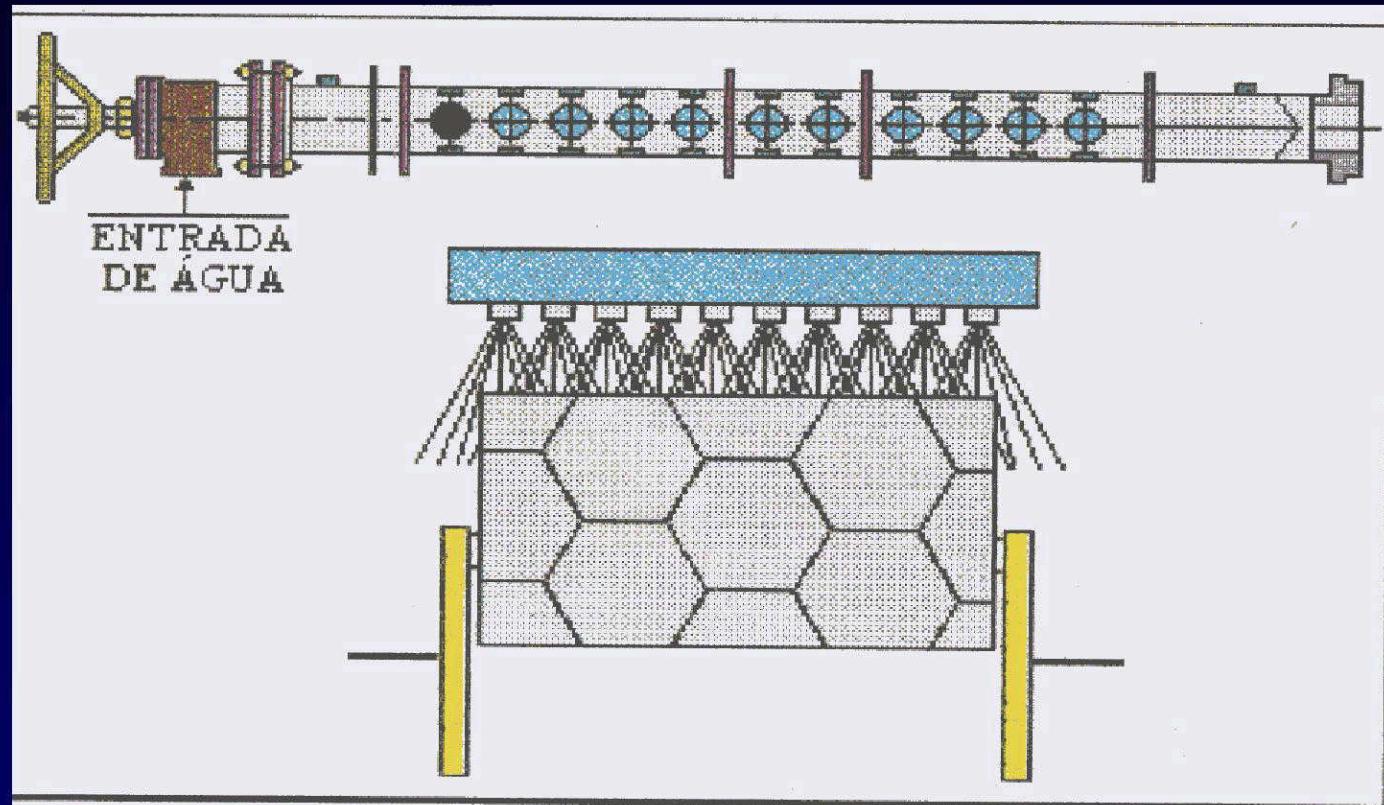
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

- A pasta é produzida fricção das toras de madeira prensadas contra uma pedra rebolo cilíndrica e em rotação.
- A madeira é material visco-elástico.
- A matriz lenhosa sofre compressões e descompressões que lhe causa fadiga, amolecimento e liberação das fibras.
- A fricção gera calor que contribui para soltar as fibras da matriz lenhosa.



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

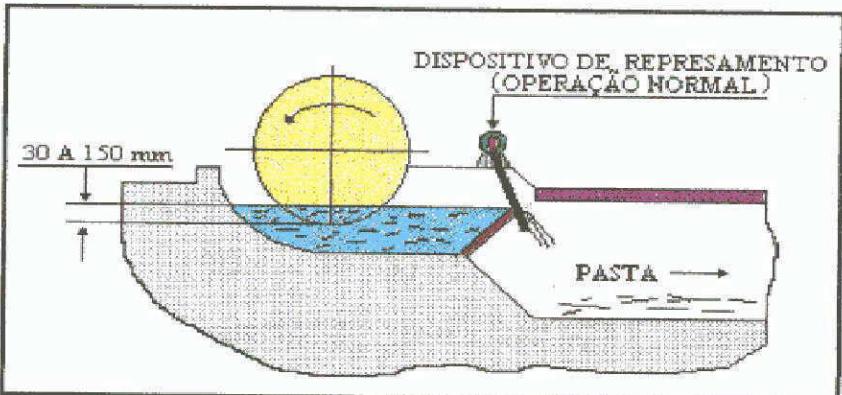


FUNÇÃO DE CHUVEIROS: Controlar temperatura, consistência, limpeza da superfície do rebolo e remoção de fibras da zona de desfibramento.

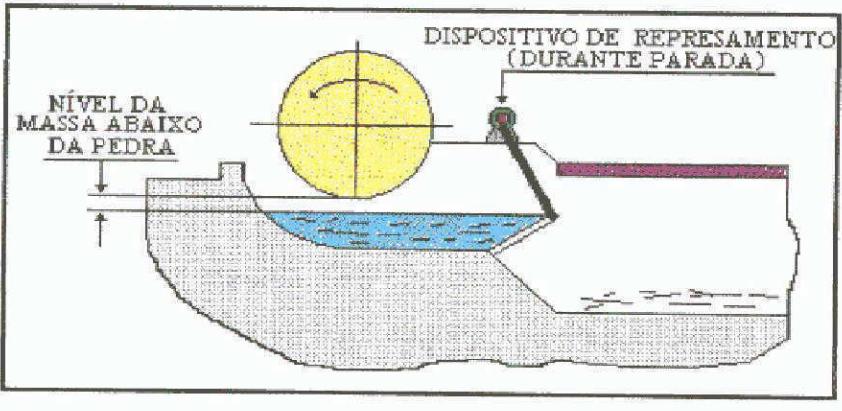
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

EM OPERAÇÃO



DURANTE PARADA

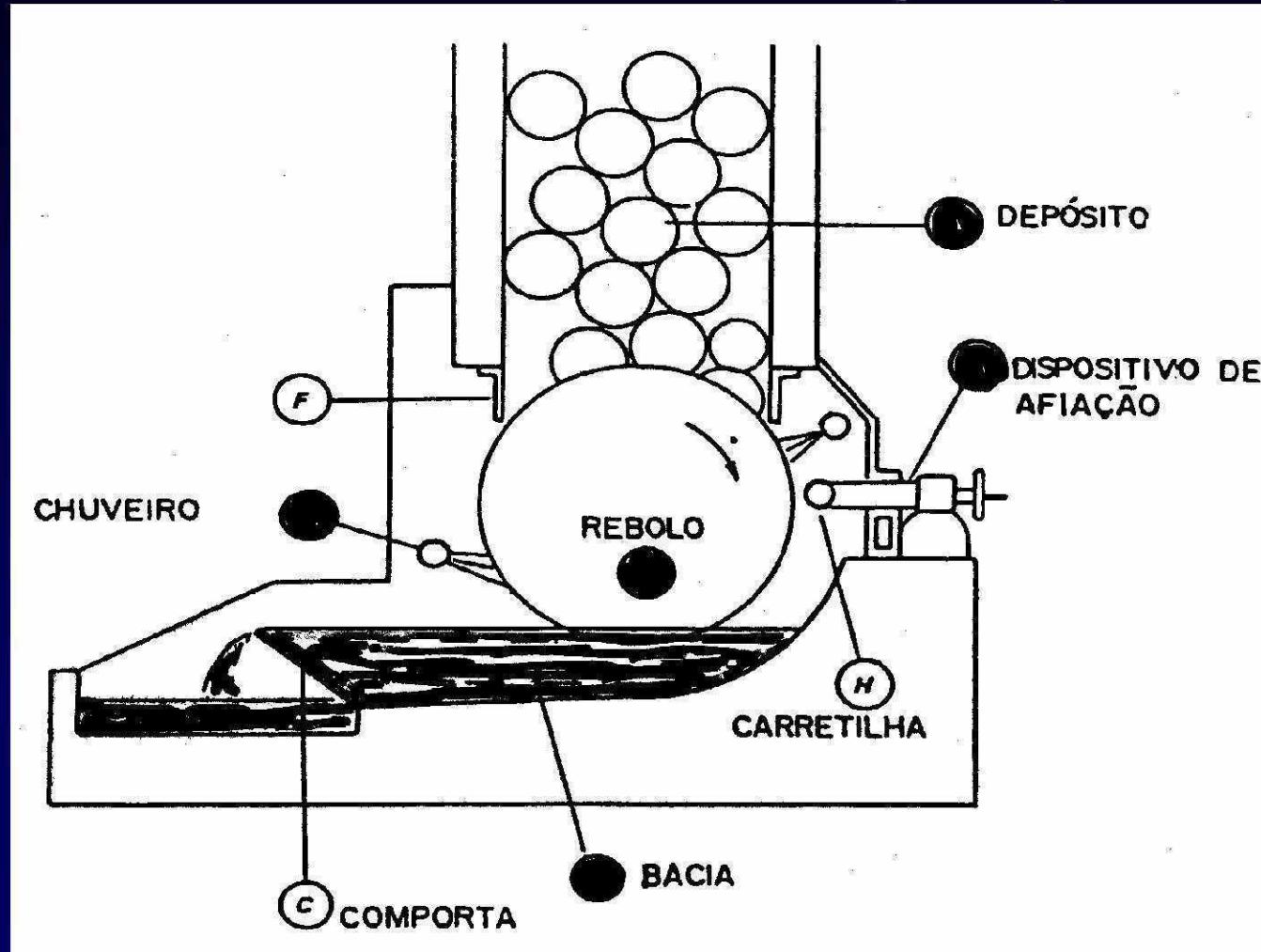


FUNÇÃO DA COMPORTA

- Resfriamento
- Recirculação
- Uniformização

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

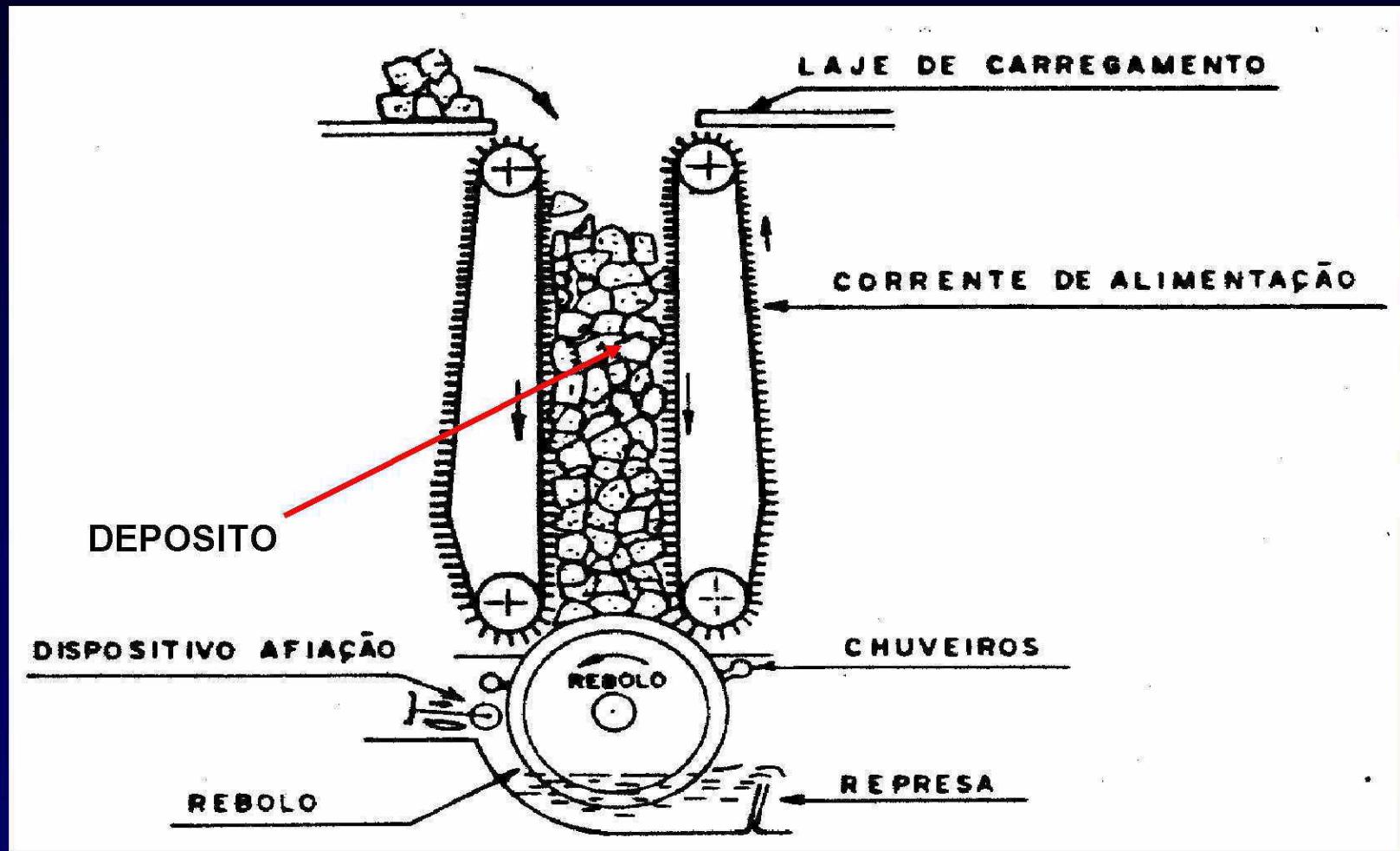
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)



Defibrador com comporta e represa

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

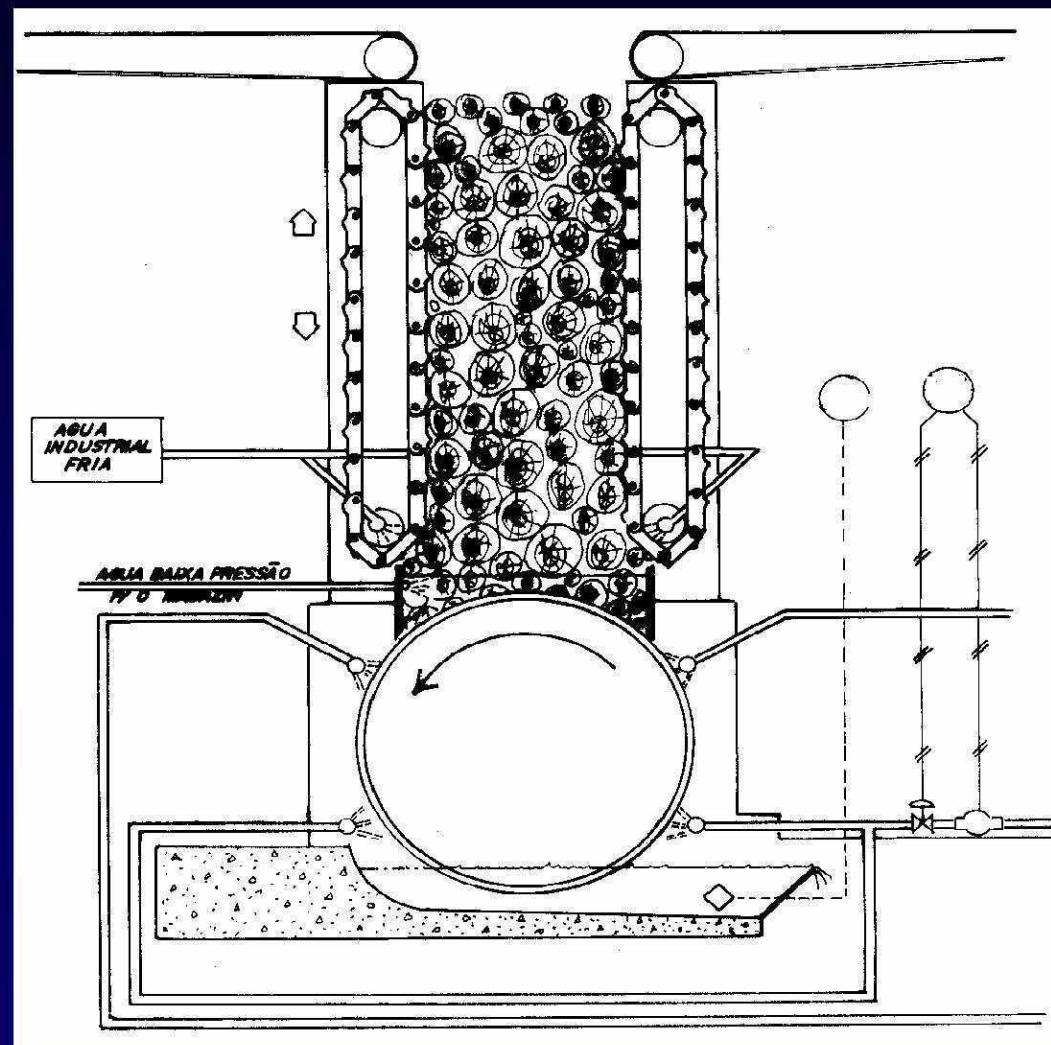
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)



Desfibrador de corrente

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW) Desfibrador Voith



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

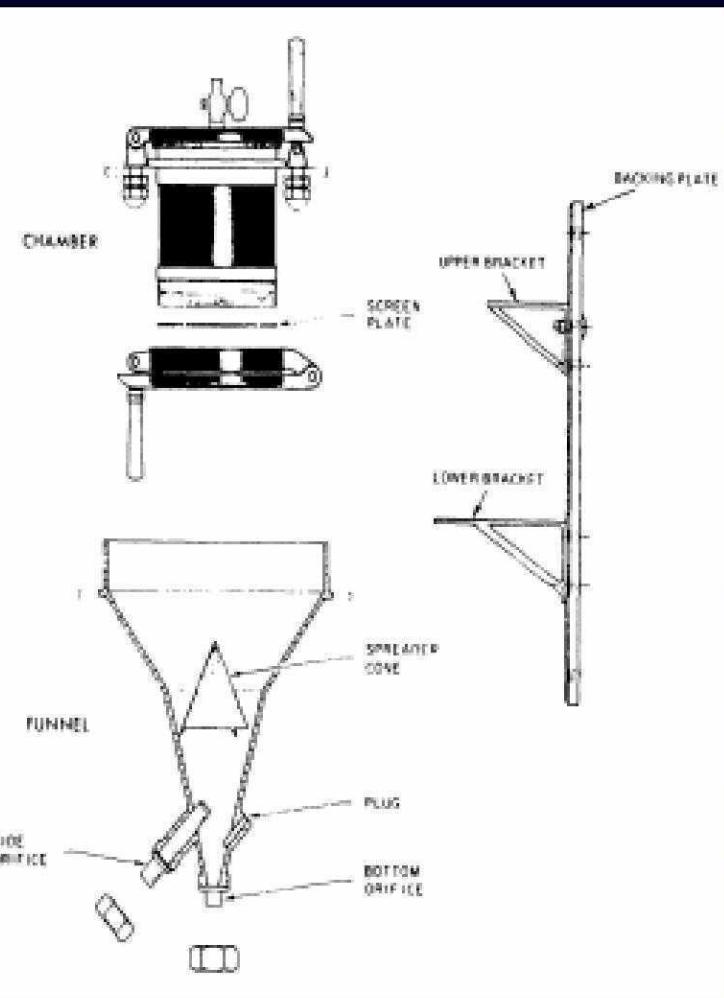
Controle da drenabilidade da pasta

Drenabilidade – medida pelo Freeness da polpa em Graus Schopper-Riegler ($^{\circ}$ SR) ou Canadian Standard Freeness (ml)

- Drenabilidade ou Freeness da polpa é o termo usado para descrever o potencial da polpa.
- Medido pela taxa ou volume de água passando através de uma quantidade de fibra formada sobre uma tela com abertura padrão.
- Fibras bem refinadas dificultam a passagem da água e resultam em drenabilidade (freeness) baixo.
- Resistência ao estouro e a tração aumentam com o tempo de moagem – resultado do aumento do número de ligações inter-fibras.
- Depende do SEC (Consumo Específico de Energia) aplicado no desfibrador – refinador.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW) Conceito e drenabilidade da pasta, (CSF, ml)

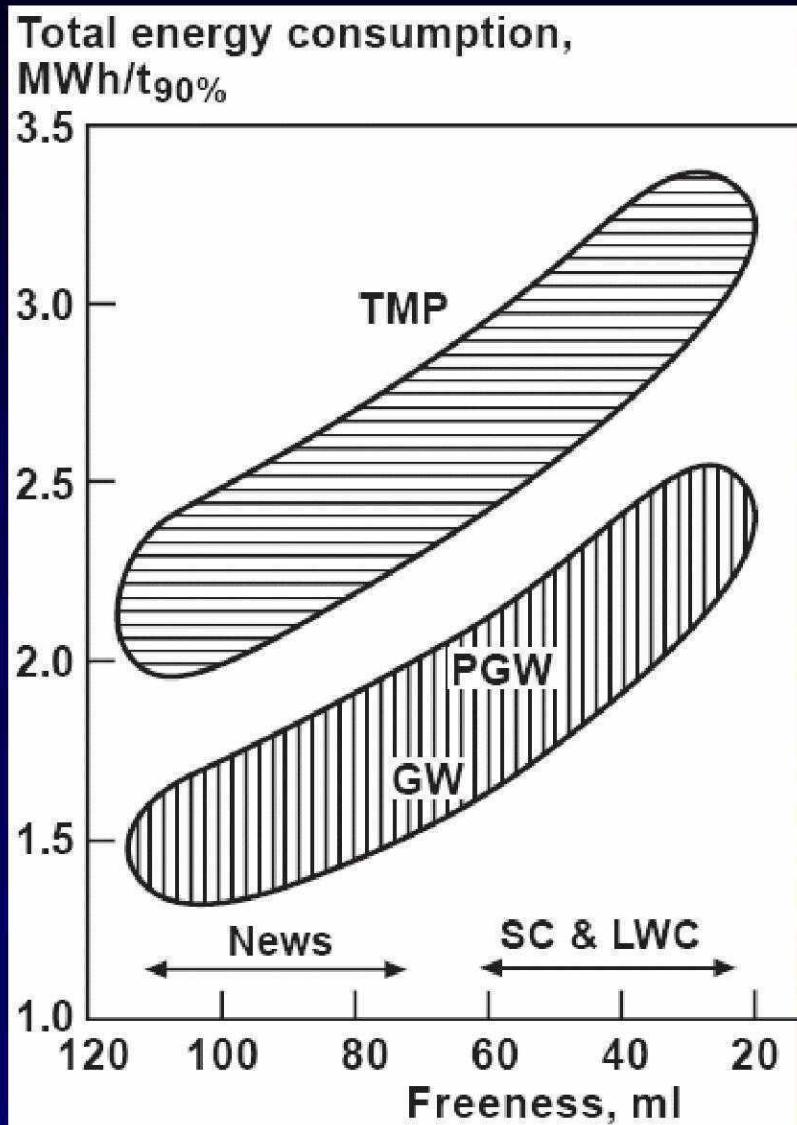


Aparelho:

- Canadian Freeness Tester
Unidade de medida – ml, CSF
- Procedimento básico
 - Um (1) litro de suspensão fibrosa à 0,3% de consistência é filtrado através da chapa peneira do aparelho.
 - O volume de água que transborda pelo orifício lateral inferior determina o valor do Freeness (drenabilidade em ml CSF).
 - O valor deve ser corrigido para 20oC.
 - Quanto maior o desfibramento e/ou refino, mais lento é a drenagem da água e menor será o volume lateral acumulado.
 - > refino - < ml, CSF

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)



Exemplo

Variação da drenabilidade da pasta (CSF, ml) em função da energia elétrica total consumida (Mwh/t) na produção de pasta do tipo SGW, PGW e TMP.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

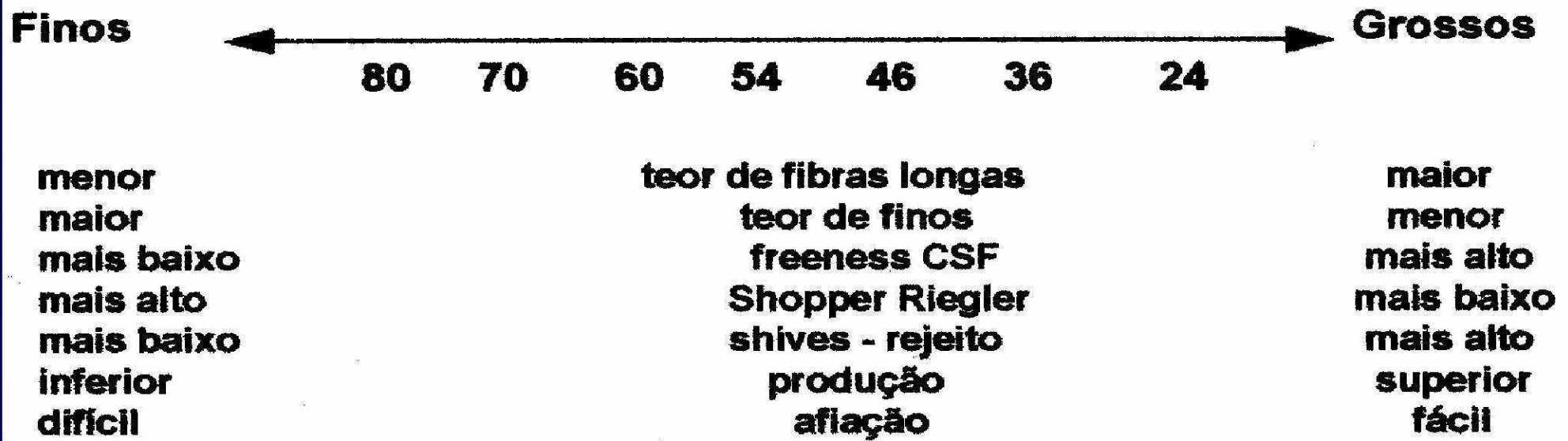
Rebolo

- Principais fabricantes:
Norton, Carborundum,
Norrona, Hercules, Staco,
Saint-Gobain
- Tipos de rebolo:
Natural, artificial (alundum-
 Al_2O_3 , crystolon-SiC)
- Montagem
- Características do Rebolo:
Cimento x Cerâmica x Natural
 - Granulação:
 - Mistura: composição
 - Dureza:
 - Estrutura
 - Liga:

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Influência do tamanho dos grânulos do rebolo sobre a pasta

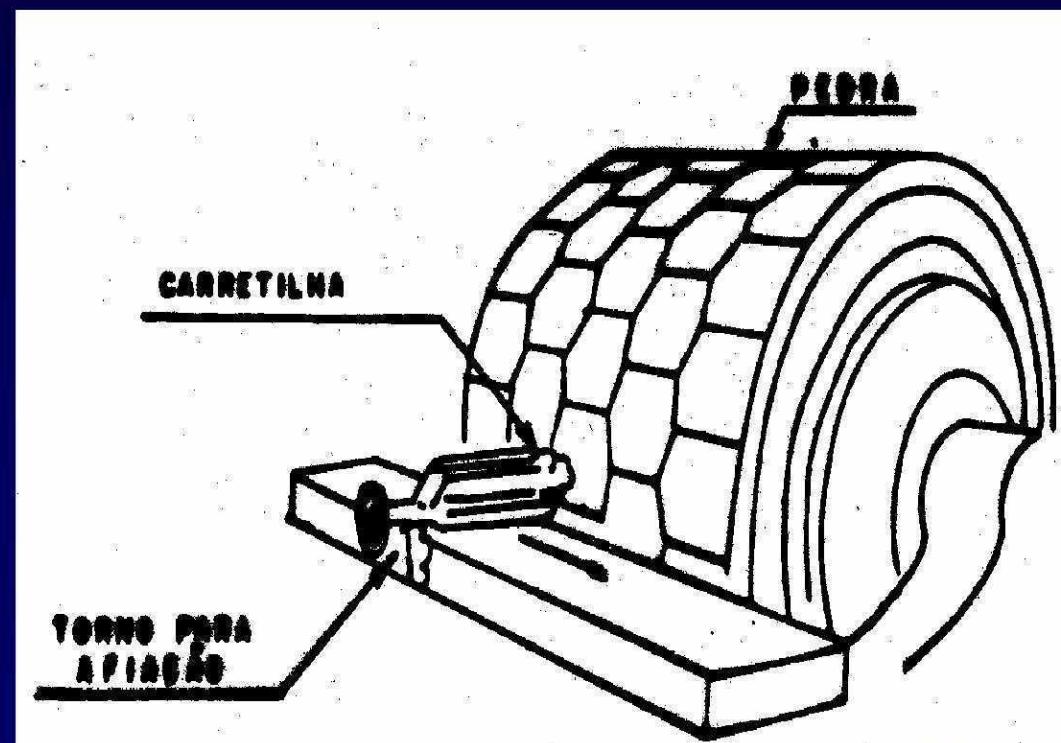
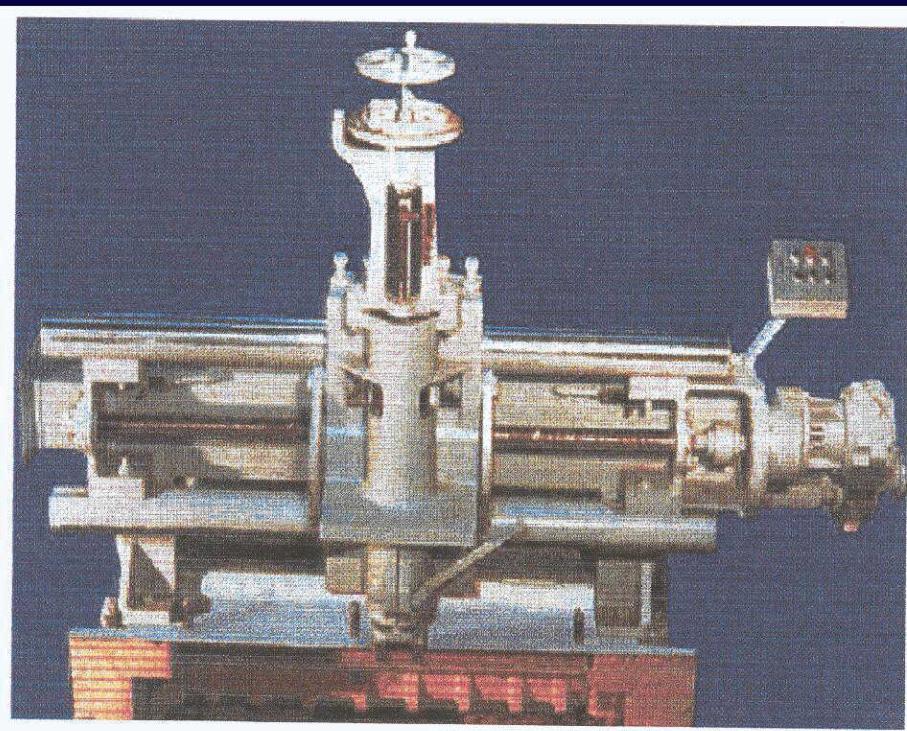


PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Afiação do rebolo

Torno de afiação e dispositivo de avanço da carretilha



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Conceitos de afiação do rebolo

1.- Principais objetivos da afiação..

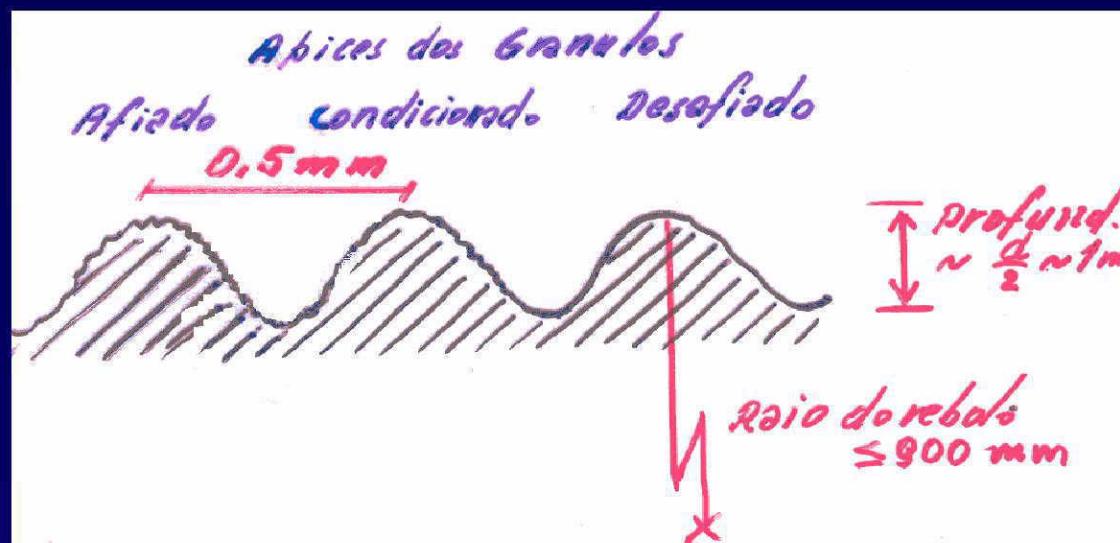
- Reduzir área de contato entre a superfície de rebolo e a madeira e manter a pressão unitária na zona de desfibramento dentro de limites pre-estabelecidos.
- Controlar o fenômeno de pressão x descompressão (vibrações), que é a fonte de calor.
- Controlar o comprimento de fibras da pasta.
- Limpar os poros da cerâmica .
- Introduzir a quantidade necessária de água para controlar a temperatura e remover a pasta produzida da zona de desfibramento.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

2.- Exposição de novos grânulo

Os grânulos de rebolo estão envolvidos com a material ligante. Durante afiação, as lâminas da carretilha cortam e removem o ligante e com ele os grânulos desafiados, expondo assim novos grânulos. Controlando a profundidade de afiação, removemos a camada adequada do ligante com grânulos gastos e controlamos a exposição de grânulos afiados.



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

3.- Redução da área de desfibramento do rebolo.

Segundo estudo teórico, durante a produção de pasta para papel jornal, cada granulo consome 0,001 HP de energia. Como cada polegada quadrada da superfície do rebolo contem aproximadamente 2000 grânulos ativos (afiados), demandaria 2 HP. Agora, considerando um rebolo com a largura útil de 47" e um diâmetro de 59" , demanda total de energia seria de 8707 HP (quase 9 mil). Como uma instalação de pasta mecânica pode prover, em media, 1 HP para cada polegada, significa que deve reduzir o número de grânulos ativos para 1000/ pol² .

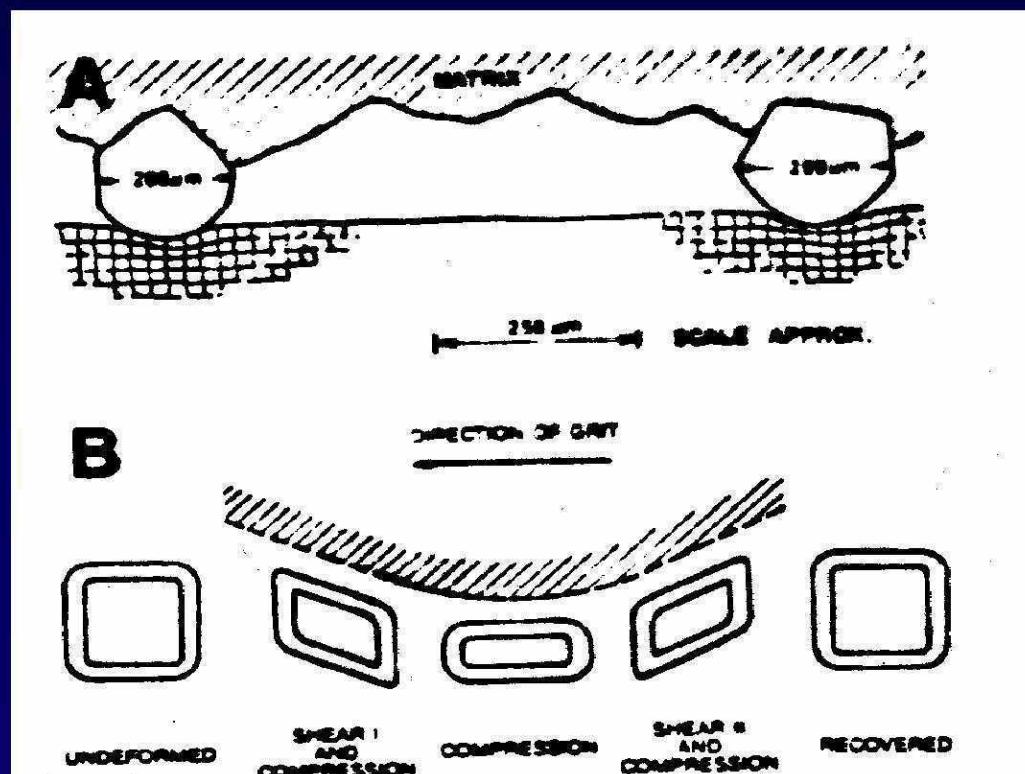
4.- Controle do fenômeno compressão x descompressão (vibr.)

Num processo de desfibramento, as lombadas e grânulos passam rapidamente por sobre a superfície da madeira. Cada vez, que uma lombada passa por cima das fibras, elas sofrem uma pressão e cada vez, que passa um sulco, ocorre uma descompressão. Alta freqüência de repetição do fenômeno causa vibrações, que causam o aquecimento.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

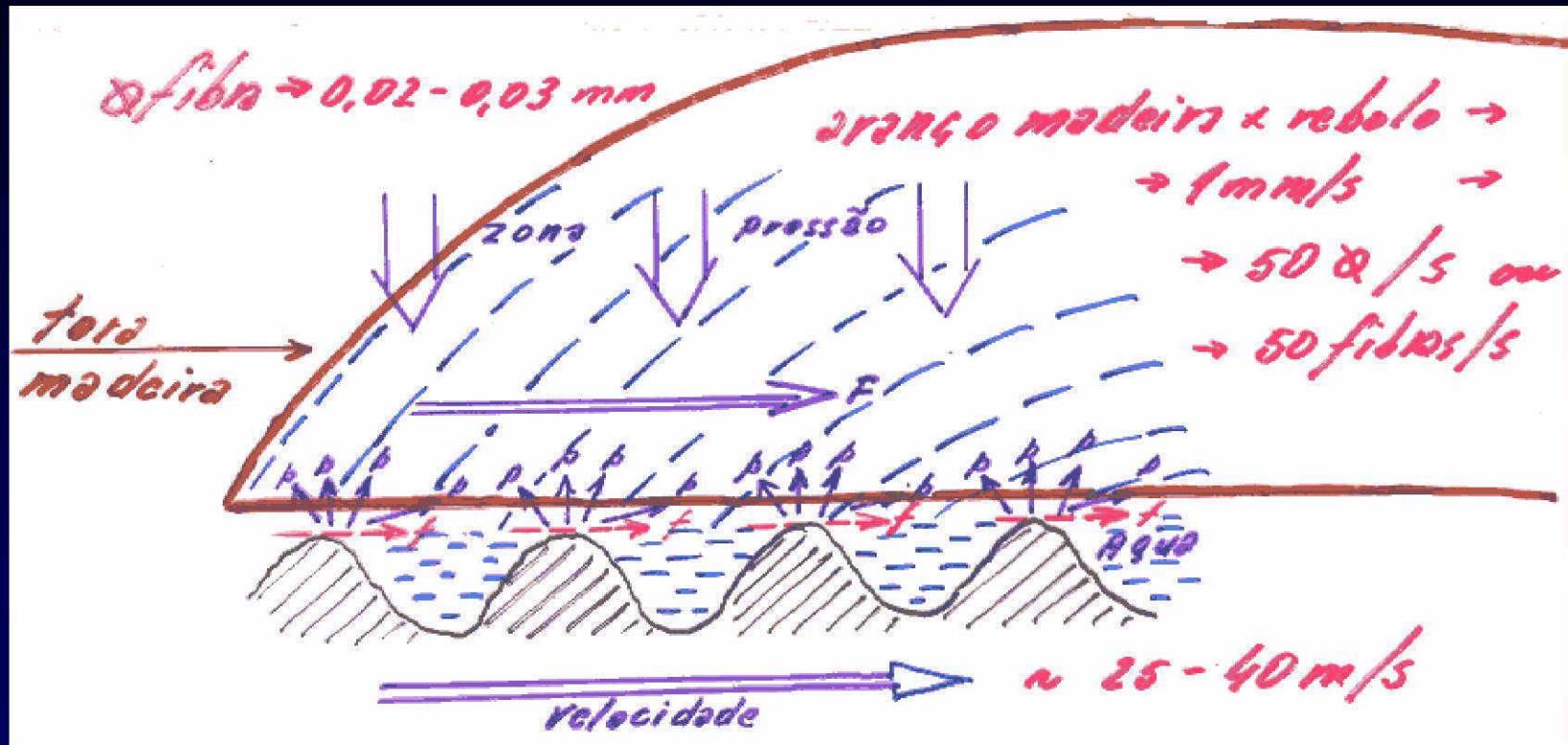
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

O calor amolece a lignina que mantém as fibras unidas e estas destacam-se da madeira. As saliências dos grânulos, mais estreitas e em maior numero, geram mais calor e causam maior amolecimento de lignina e, consequentemente, mais fácil separação de fibras e/ou seus aglomerados. Assim, as fibras são mais compridas e a pasta acusa um SRº mais baixo.



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)



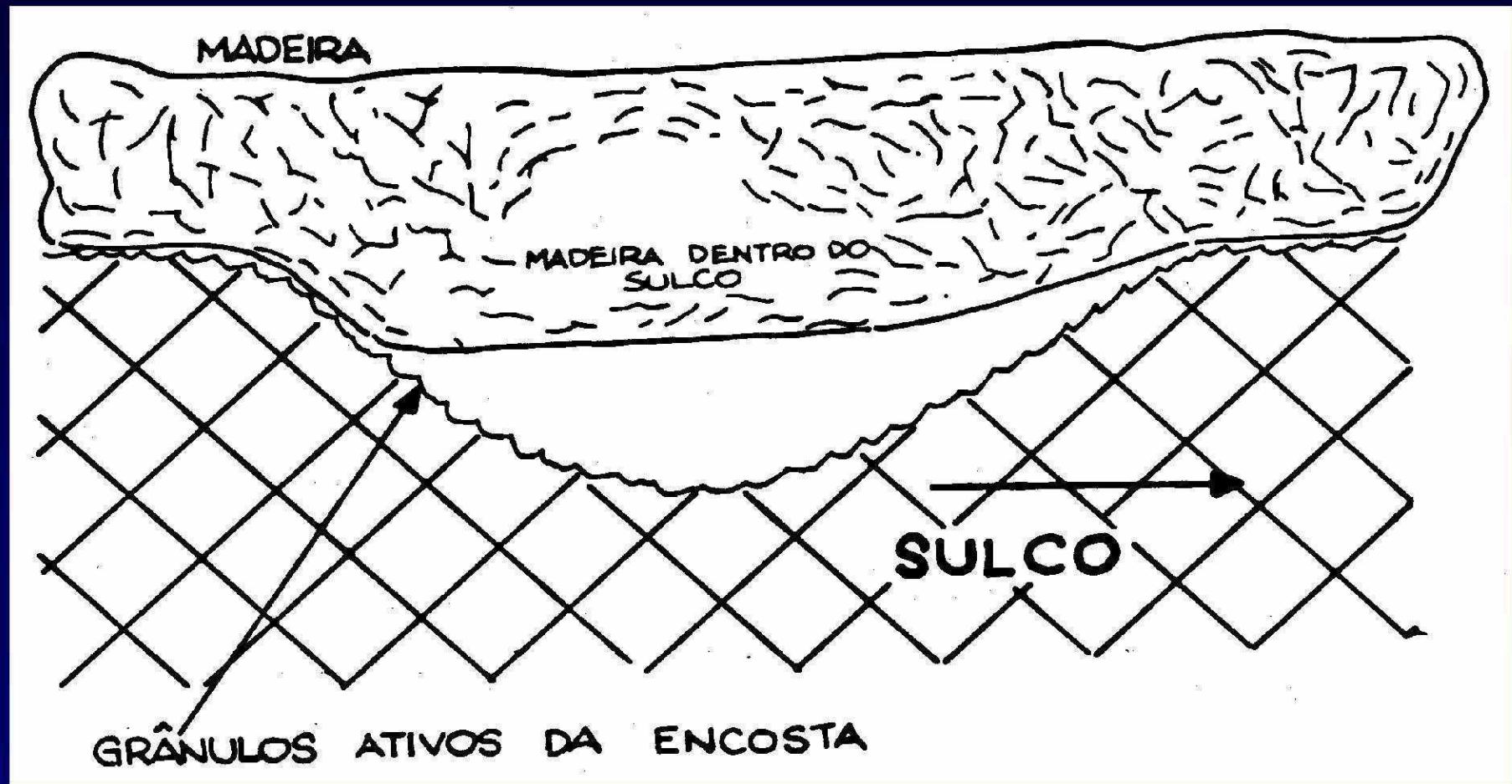
5.- Controle de comprimento de fibras.

Além disso, o serem liberadas da matriz, as fibras continuam passando pela zona de desfibramento. No percurso elas sofrem um re-desfibramento, o que faz reduzir o seu comprimento. A solução é reduzir o tempo de permanência na zona.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Encosta do sulco

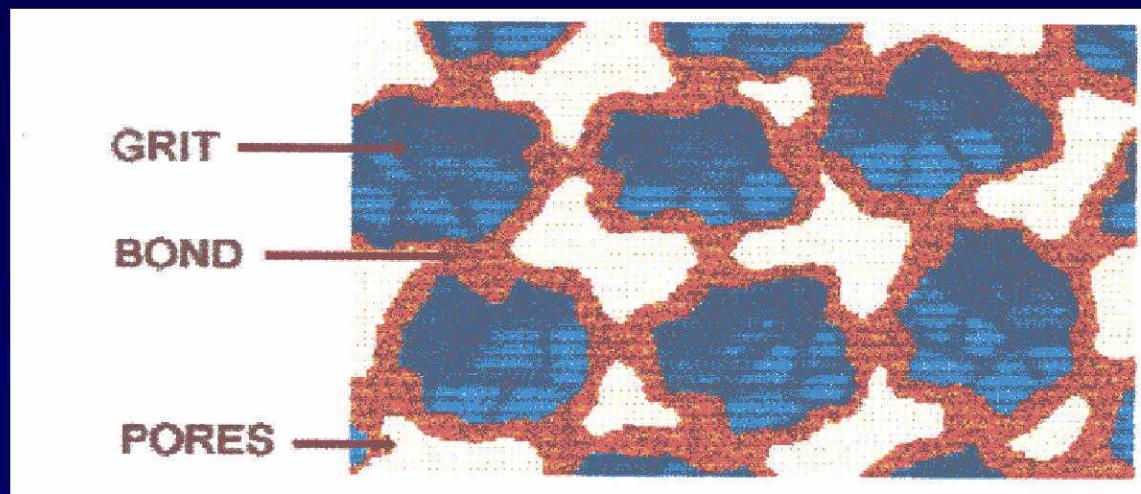


PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

6.- Limpeza dos poros na superfície do rebolo.

No desfibramento, os poros do rebolo ficam obstruídos por resina e finos. A função dos poros é dissipar o calor e controlar a temperatura. O superaquecimento pode causar trincas na superfície e queima do material orgânico. Além de expor novos grânulos, a afiação substitui poros obstruídos por novos e abertos. Poros abertos podem absorver água de resfriamento e controlar a temperatura



ESTRUTURA REBOLO

- Fechada: 0, 1, 2, 3, 4
- Normal: 5, 6, 7
- Aberta: 8, 9, 10

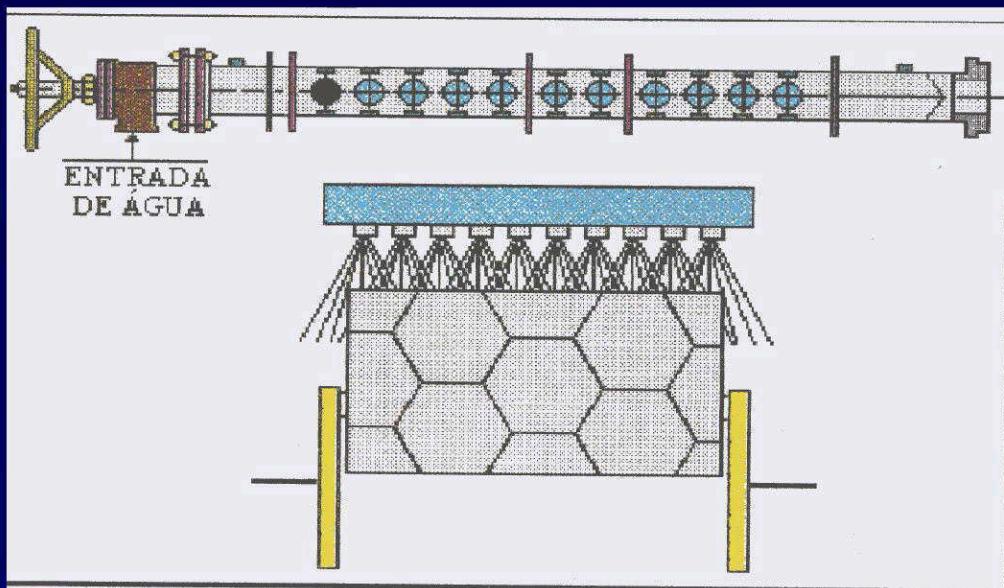
No desfibramento em pressões mais altas, a estrutura da cerâmica deve ser mais fechada.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

7.- Resfriamento da superfície do rebolo.

Imprimindo sulcos na superfície do rebolo, ocorre um aumento de sua área, que contribui para dissipação de calor gerado. A água no chuveiro deve ser adequada. Falta no resfriamento pode causar a queima do material orgânico e obstrução total da superfície, parando a produção de pasta. Os sulcos que transportam esta água para a zona de desfibrramento devem ser desimpedidos e possuir uma adequada profundidade.

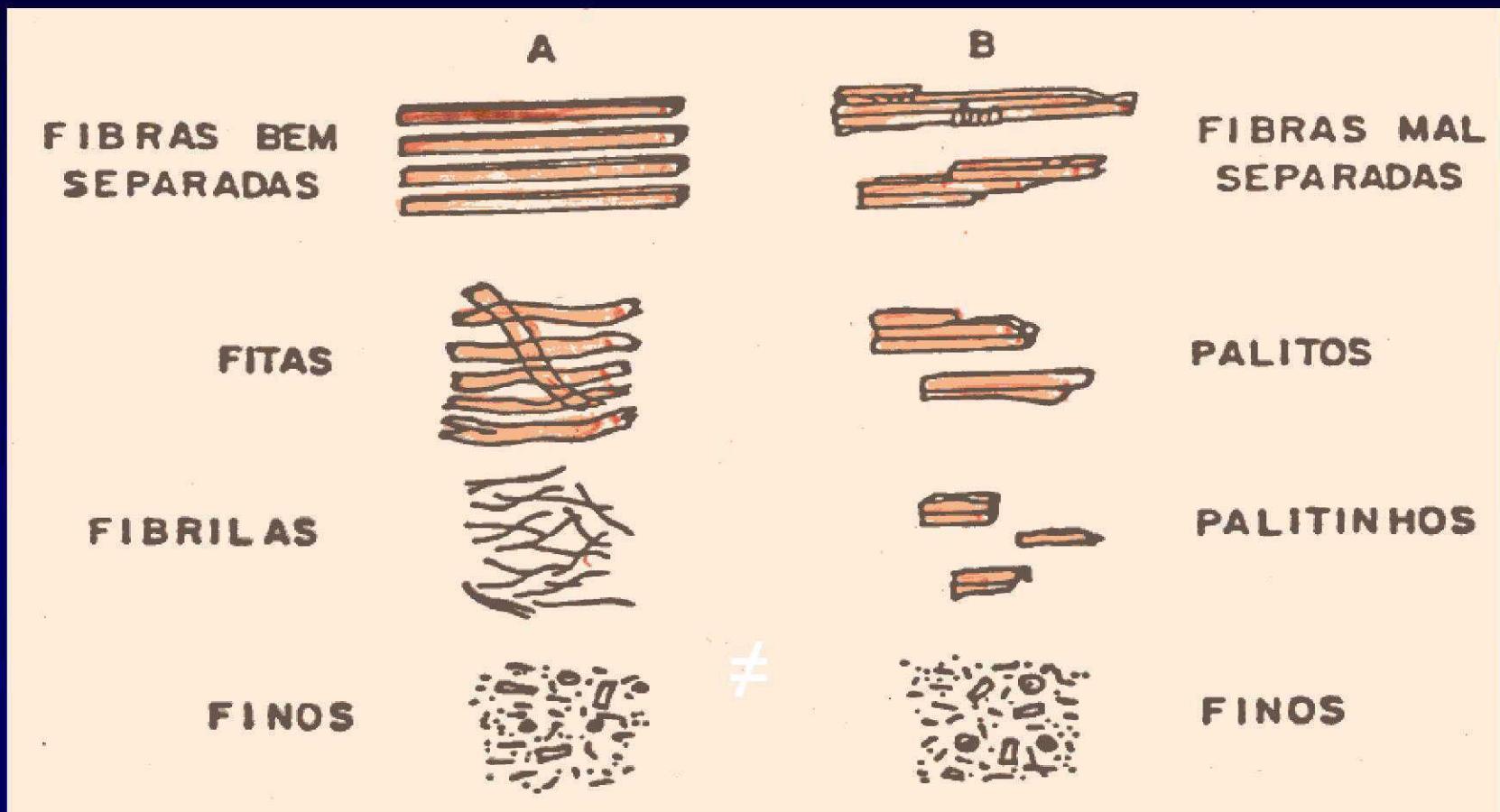


FUNÇÃO DE CHUVEIROS:
Controlar temperatura,
consistência, limpeza do
rebolo e remoção de fibras
da zona de desfibrramento.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

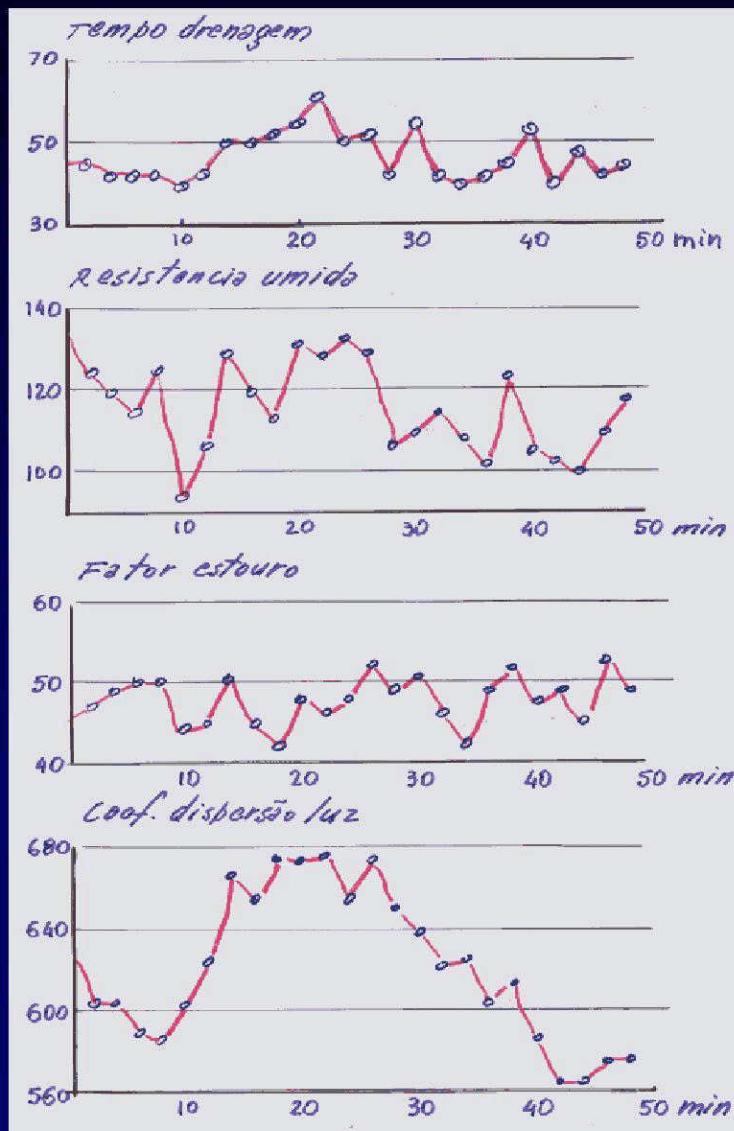
Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Afiação contribui no desfibramento e fibrilação. Afiação malfeita pode causar a produção excessiva de rejeitos ou, então, muitos finos, ambos responsáveis pela baixa qualidade da pasta.



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)



Condições de operação

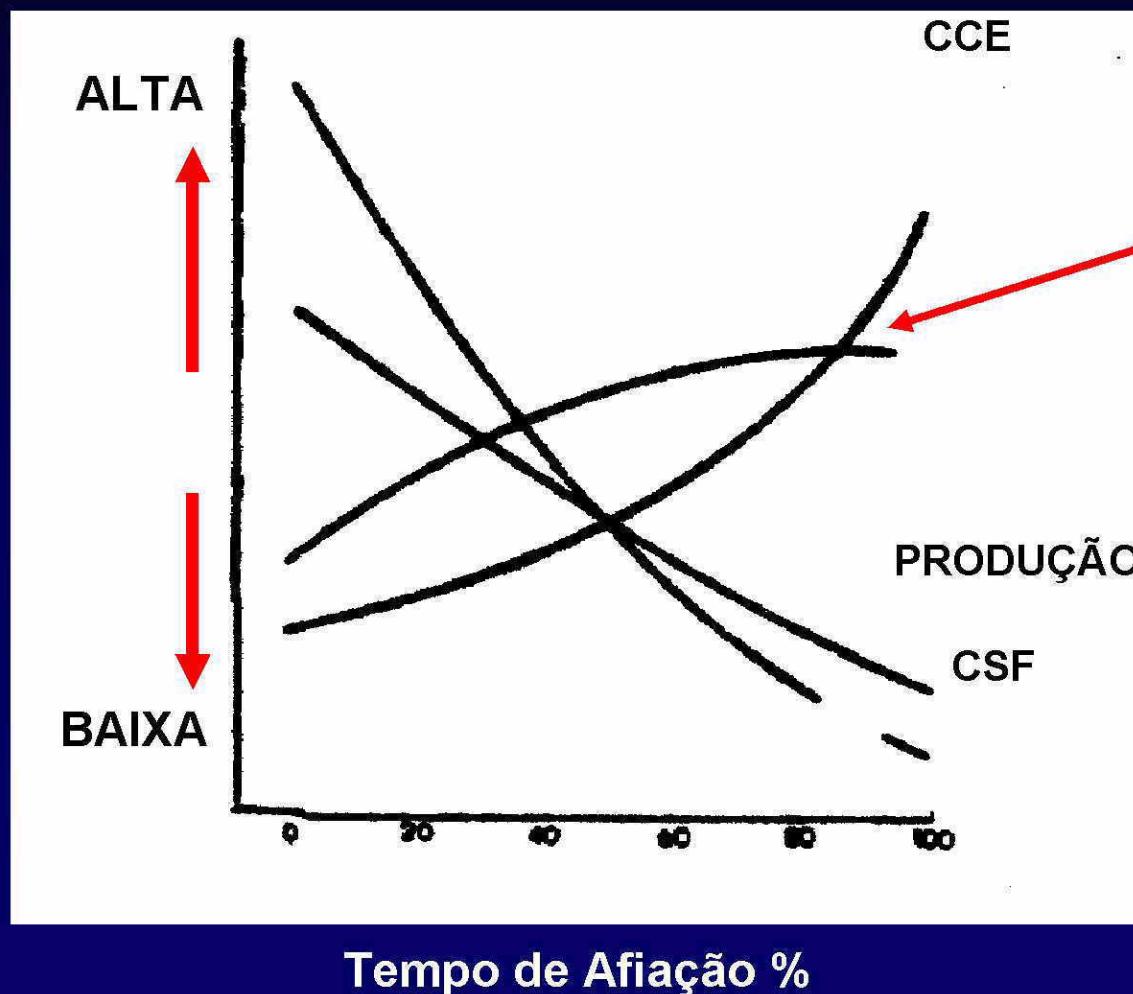
Amostras tiradas numa seqüência de dois minutos, acusam altas variações na qualidade da pasta.

- Drenagem
- Resistência úmida
- Estouro
- Coeficiente de dispersão

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

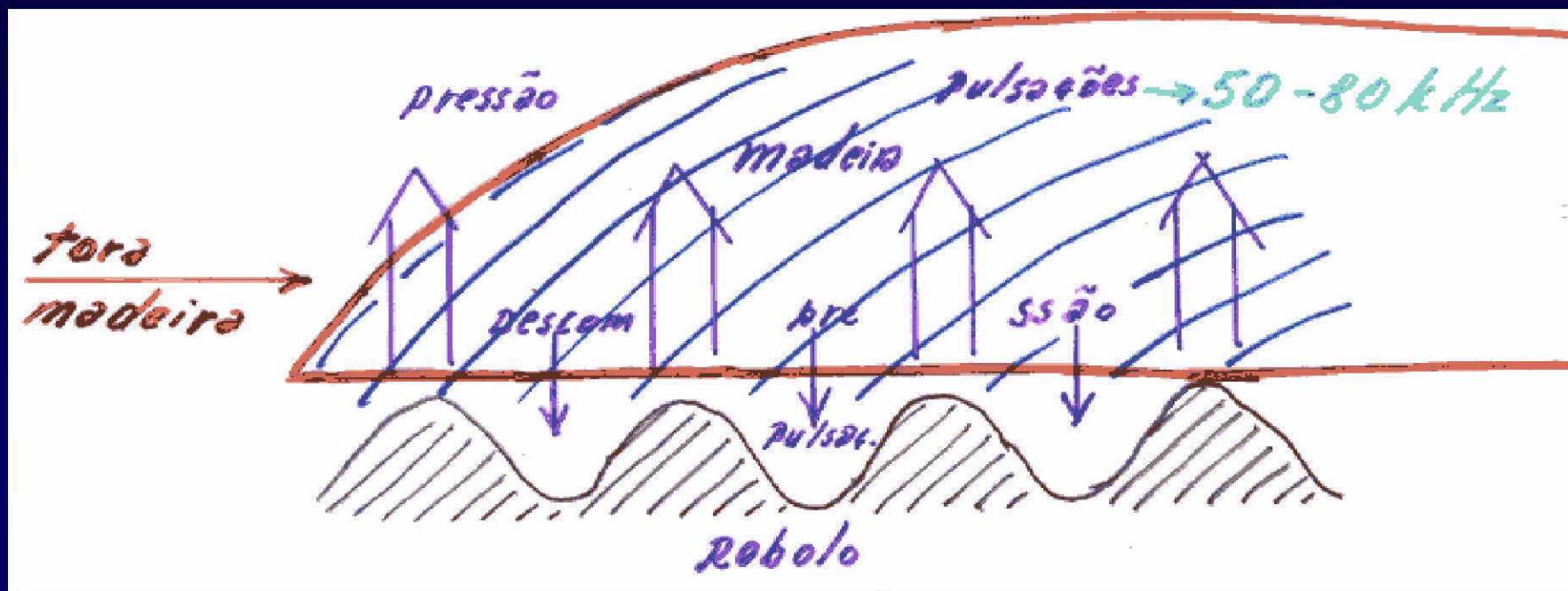
Qualidade x Tempo de afiação



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW)

Efeito de vibrações



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica de rebolo (SGW) Controle de Processo

- Geralmente mais de um refinador e ou linha de produção na fábrica
- Controle de processo baseado em objetivos (que tipo de polpa) e ações ao longo do tempo (variações em tipo de madeira, etc.)
- Origens de variações
 - variação no diâmetro das toras,
 - operação diferenciada das bolsas
 - alteração no tamanho da batelada de madeira por bolsa
 - densidade da batelada
 - diferentes velocidades nas correntes do desfibrador
- Lista de ações para controle do processo
 - pressão dentro do desfibrador,
 - temperatura da água de chuveiro
 - vazão de água no chuveiro
 - taxa de imersão do rebolo
 - velocidade das correntes
- Origens de variações de longo termo
 - Tipo de rebolo
 - Afiação e padrão de afiação do rebolo
 - Qualidade e umidade da madeira

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Parte 2 - Pasta Mecânica por refino (RMP, TMP, CMP, CTMP)

- Introdução
- Fluxograma
- Equipamento
- Processo
- Controle de processo
- Usos

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por refino (RMP, TMP, CMP, CTMP)

Introdução

- Muitos são as alternativas de processo PAR.
- No processo com refino a madeira na forma de cavaco passa pela ação de desfibramento em um ou mais refinadores.
- RMP – PAR via refino a frio e atmosférico.
- TMP – PAR via refino pressurizado
- CMP – PAR via refino com tratamento químico atmosférico
- CTMP – PAR via refino pressurizado e tratamento químico
- Tratamento químico e térmico facilita desfibramento e qualidade da polpa (maior integridade das fibras) e aumenta sua alvura.

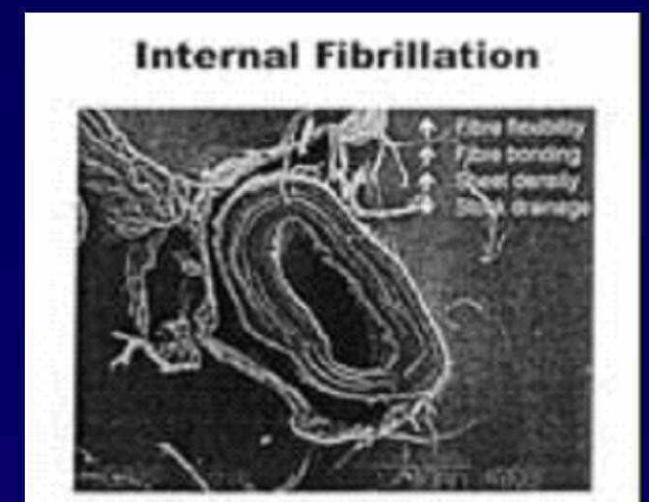
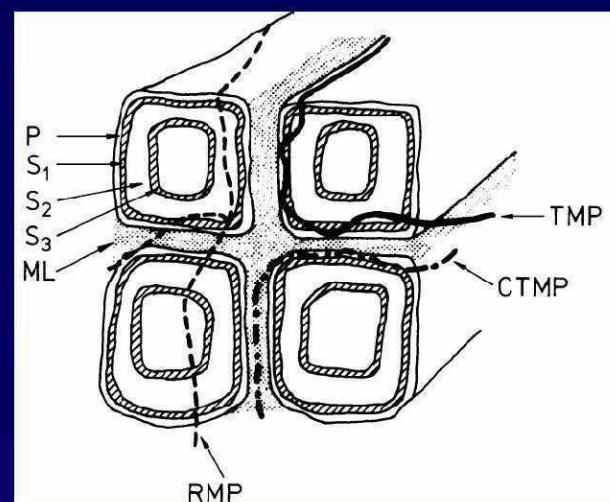
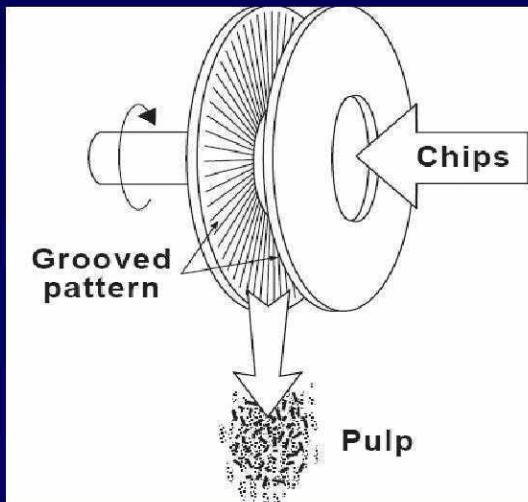
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por refino (RMP, TMP, CMP, CTMP)

Introdução

No processo ideal de produção de pasta mecânica:

- As fibras devem ser separadas umas das outras da matriz lenhosa,
- O comprimento das fibras deve ser preservado ao máximo,
- As fibras devem ter suas paredes (principalmente a S2) delaminadas internamente (fibriladas),
- A fração de finos com potencial de ligação e espalhamento de luz deve ser produzida a partir da lamela média e das paredes da fibras (P e S),



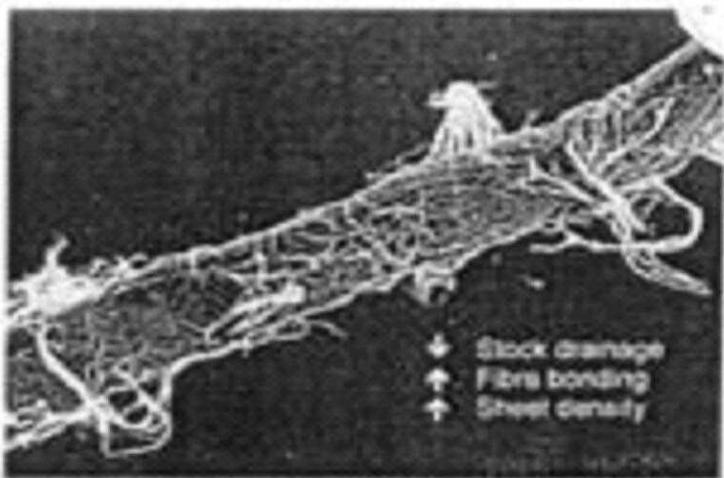
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por refino (RMP, TMP, CMP, CTMP)

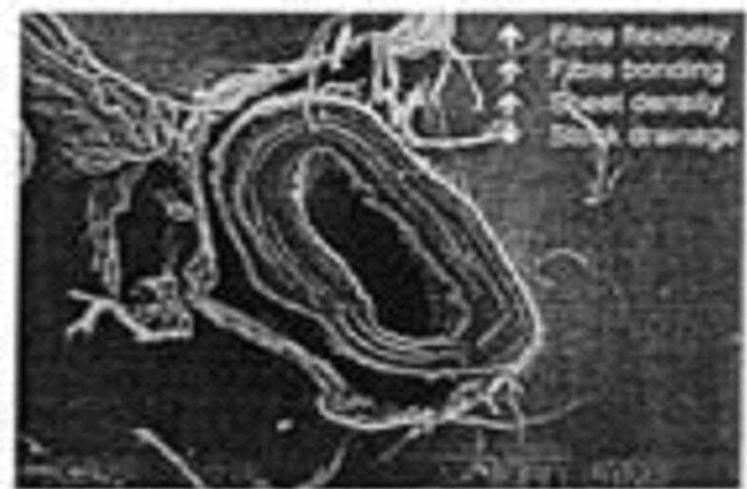
Fibrilação

- Fibrilação interna e externa aumentam o potencial de ligações e/ou área as ligadas entre as fibras – aumento de resistência mecânica.

External Fibrillation

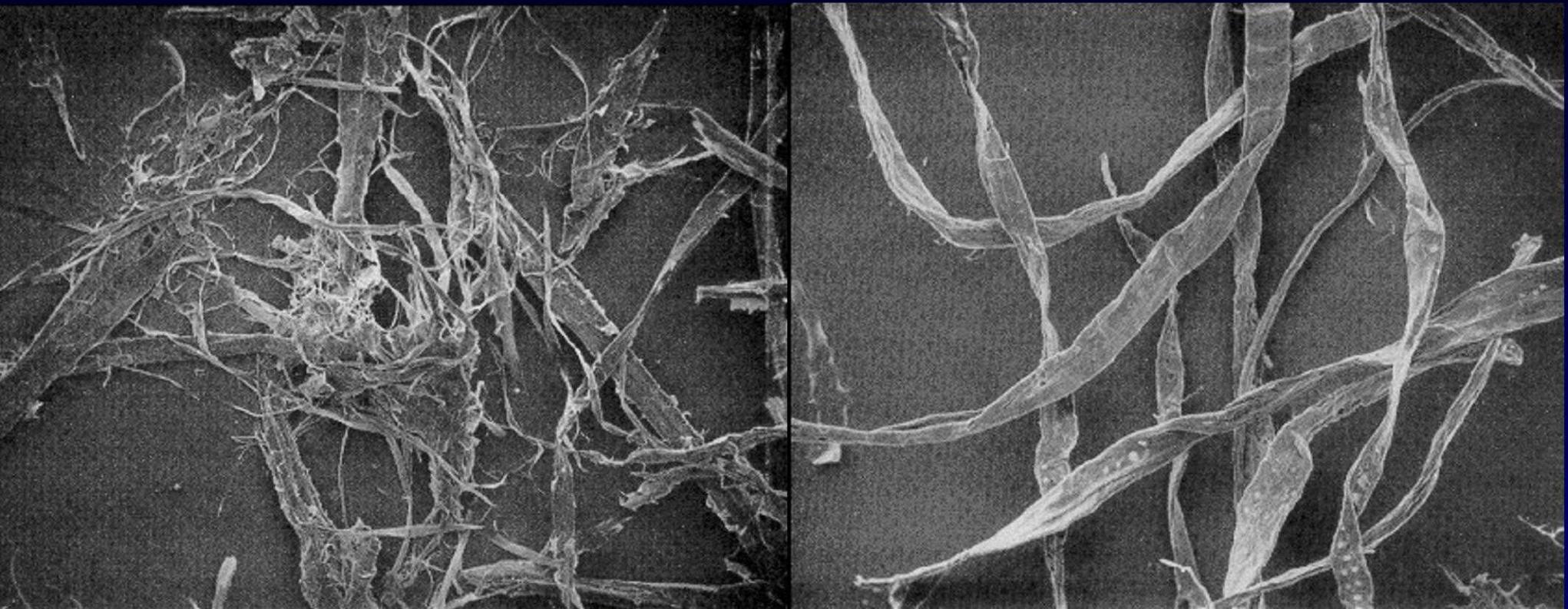


Internal Fibrillation



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por refino (RMP, TMP, CMP, CTMP)
Fibras vistas após polpação e lavagem



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Parte 2.1- Pasta Mecânica por Refino (RMP)

- O processo de pasta mecânica por refino (RMP) desenvolvido nos anos 1950, usa cavacos como principal matéria-prima.
- Originou de resíduos de serraria e de toras reduzidas a cavaco
- Cavacos alimentados entre dois discos metálicos que giram em sentidos contrário (um pode ser estacionário).
- Discos tem barras e sulcos cuja ação causa desfibramento, moagem e refino dos cavacos.
- Produz mistura de materiais fibrosos cujo comprimento médio é relativamente maior que àquele do processo de pasta mecânica de rebolo (SGW),

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Controle do consumo de energia em refinadores

- Madeira e energia elétrica têm maior impacto no custo variável de produção de PAR - RPM.
- A produtividade dos processos PAR foram melhoradas.
- Primeiros equipamentos com capacidade instalada de 30 kW.
- Modernamente, motores de 9.000 kW.
- Capacidade de produção calculada a partir da potência do motor do consumo específico de energia (SEC) para cada tipo de madeira e qualidade desejada do produto (p.ex., drenabilidade final).
- Produtividade

$$\underline{P(t/h)} = k \times \text{Potência do motor} / \text{SEC (kWh/t)}, \text{ ou}$$

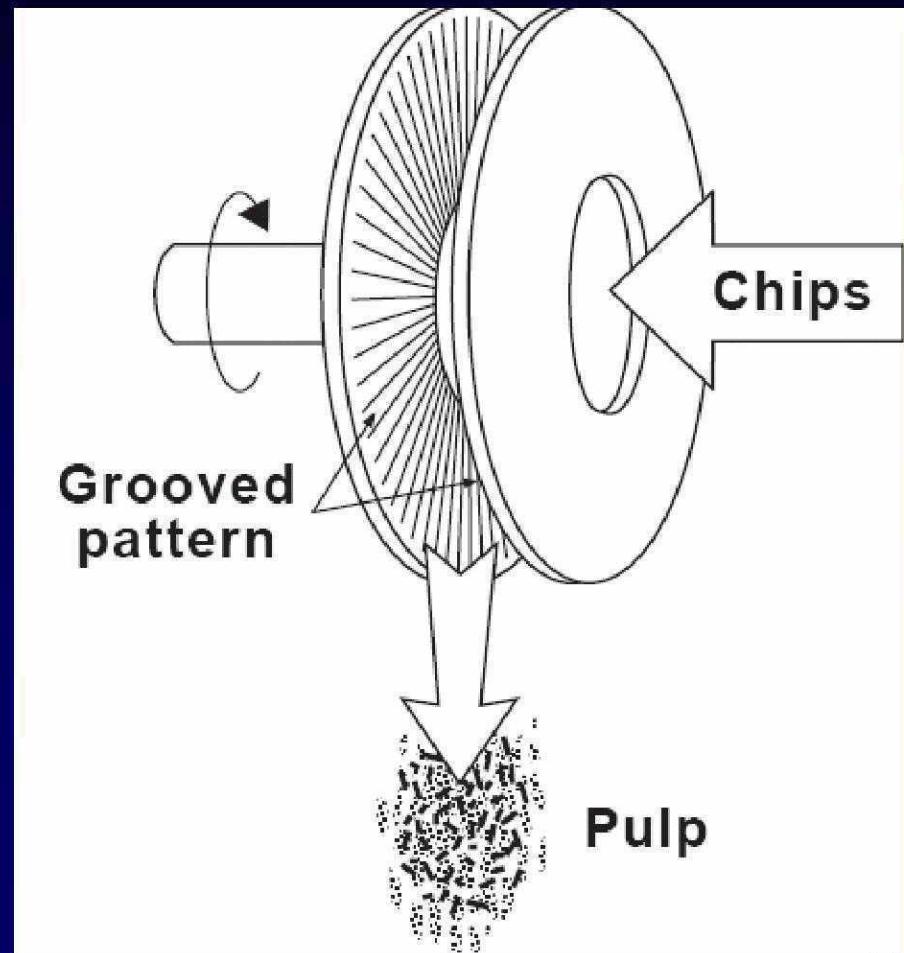
$$\underline{\text{SEC (KWh/t)}} = k \times \text{Potência do motor} / \text{Produção (t/h)}, \text{ onde}$$

K = coeficiente do equipamento

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Princípio de funcionamento do refinador de cavacos

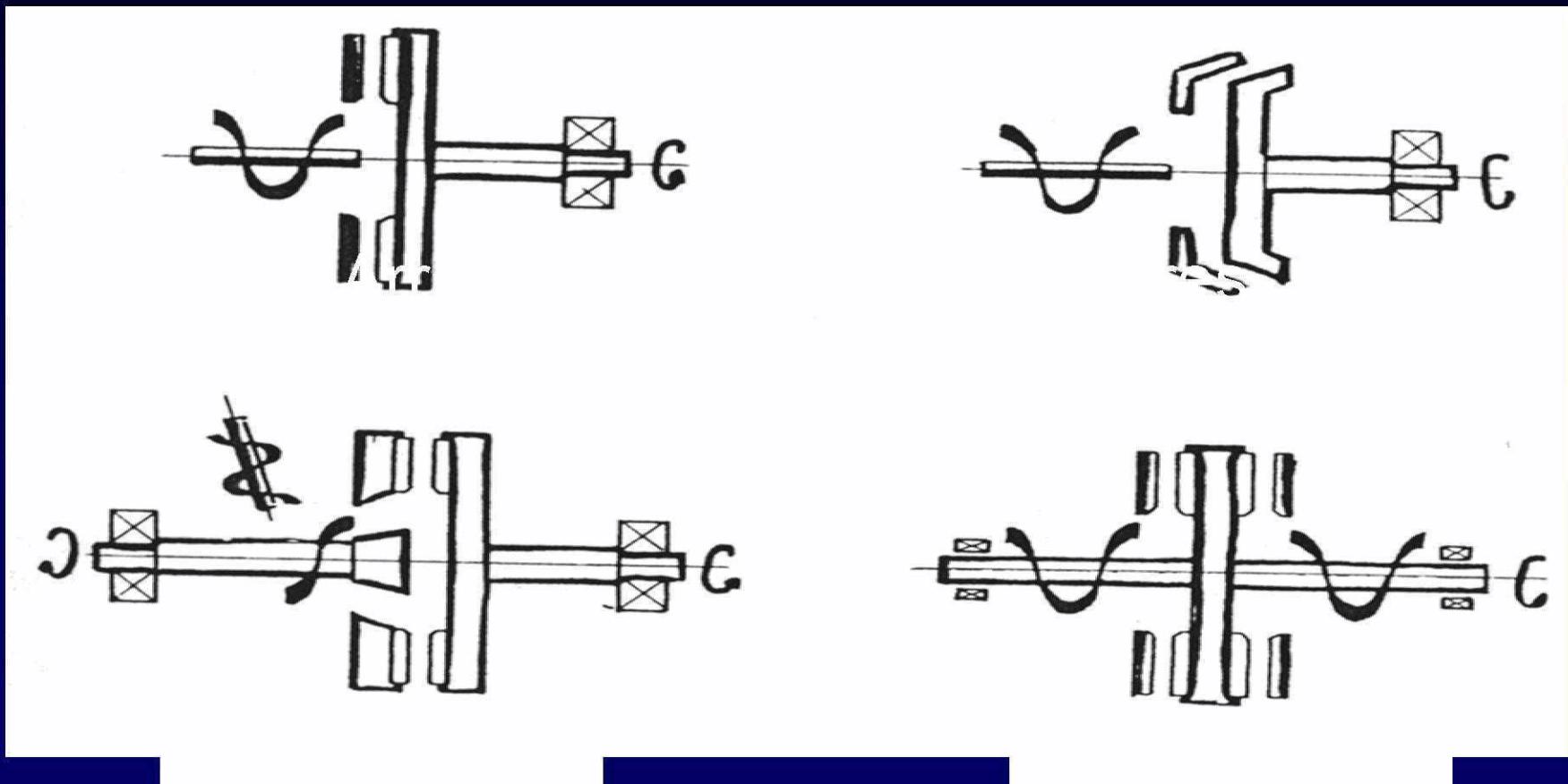


Sundholm, 1999⁵³

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Arranjos típicos de refinadores



Ref.: KAPPEL, 1999 citado por Pavan, 2005)

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Equipamento - Desfibradores / refinadores

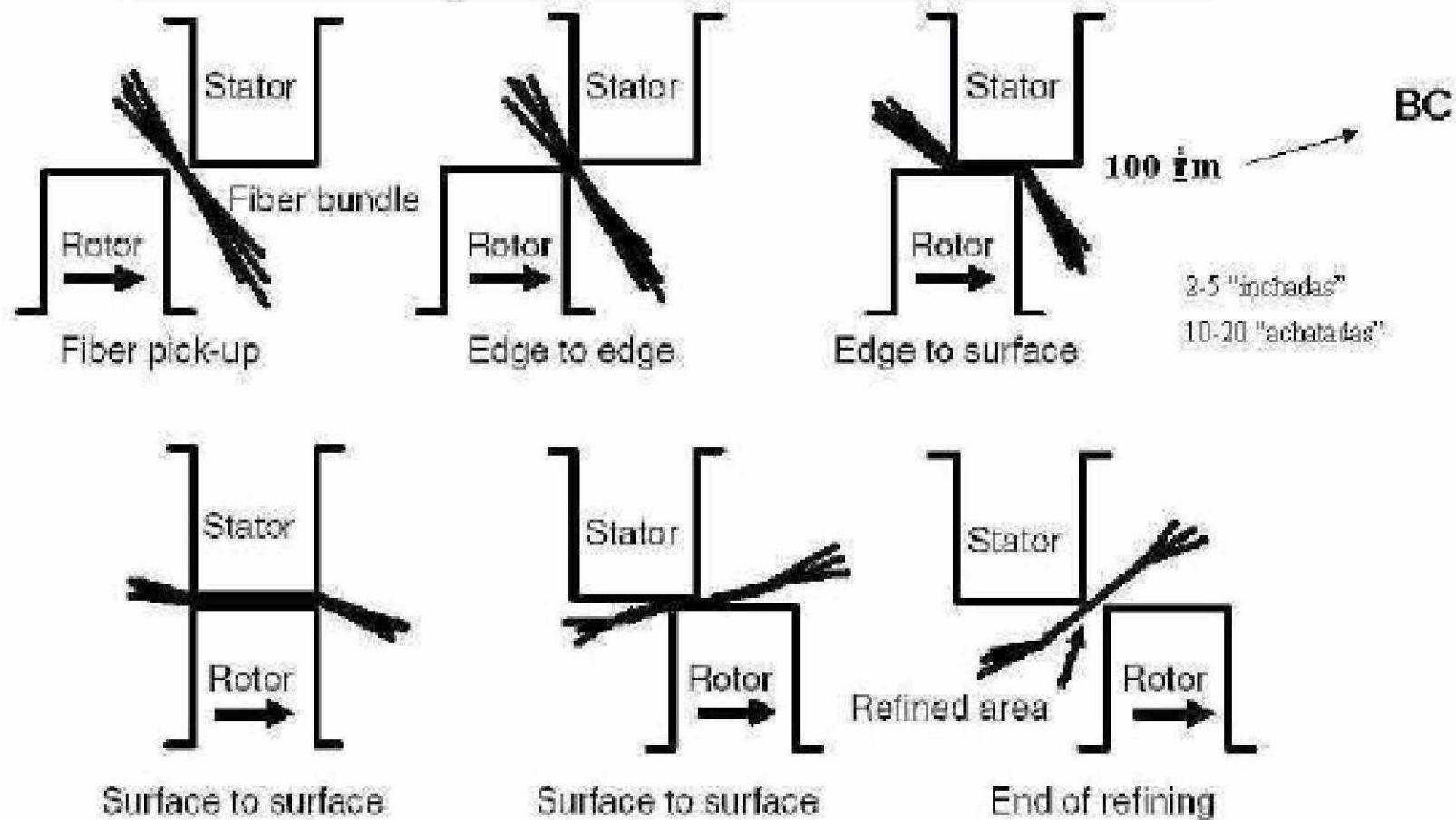
Objetivo dos refinadores

- Aplanar fibras e assegurar máximo desenvolvimento de área de superfície para facilitar formação ligações química por pontes de hidrogênio na formação do papel.
- Moagem libera as fibras da matriz lenhosa.
- Moagem é feita em refinadores.
- Um tucho de fibras revolve dentre discos dotados de ranhuras e saliências metálicas do refinador.

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP) Equipamento - Desfibradores / refinadores

Princípio do refino ?



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Equipamento - Desfibradores / refinadores

Efeitos do refino

- 1 - As fibras são cortadas e estreitadas.
- 2 - Finos são produzidos e a paredes da fibra é removida produzindo "debris" em suspensão
- 3 - Fibrilação externa
- 4 - Mudanças internas na fibra e na estrutura da parede, fibrilação interna e a fibra incha
- 5 - A fibra se curva ou se alonga
- 6 - Criação de nodos, "kinks", microcompressão da parede celular.
- 7 - "Leaching" material coloidal para a fase líquida.
- 8 - Redistribuição da hemi-celulose do interior da fibra para o exterior.
- 9 - A superfície da fibra se torna mais abrasiva e mais gelatinosa.

Consequências do refino

Como consequência:

- 1 - As fibras se tornam mais flexíveis e a área de "ligação" aumenta.

No papel:

- 1 - Aumenta a resistência a drenagem
- 2 - A energia de tensão, *Mullen*(estouro), força de rompimento interna e fratura **AUMENTAM**.
- 3 - Energia rasgo do papel melhora mas depende da energia aplicada no refino a tração diminui.
- 4 - Permeabilidade ao ar, *bulk* absorbênciia, opacidade **DIMINUEM**.
- 5 - Altura diminui (pouco).

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Equipamento - Desfibradores / refinadores

Controle de refino:

- Drenabilidade:
 - SR°
 - CSF
- Testes de laboratório
- Parâmetros da máquina de papel:
 - Vácuo no rolo *cush*
 - Avanço na linha d'água (espelho)

Energia de Refino Aplicada, kWh / t

Energia de Refino Aplicada, kWh / t

• **No Load** = Sem carga

$$EER = \frac{ITF\sqrt{3}}{Fl} \cdot \frac{C}{100}$$

$$SRE = \frac{Pt \times Pn \times Pe}{Fl} \cdot \frac{C}{100}$$

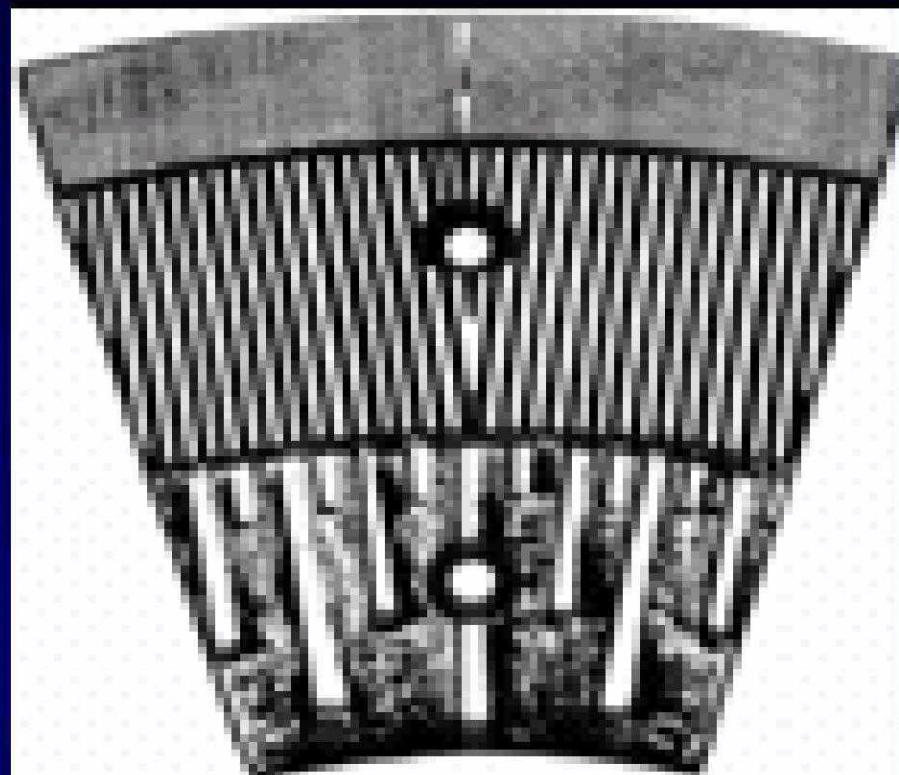
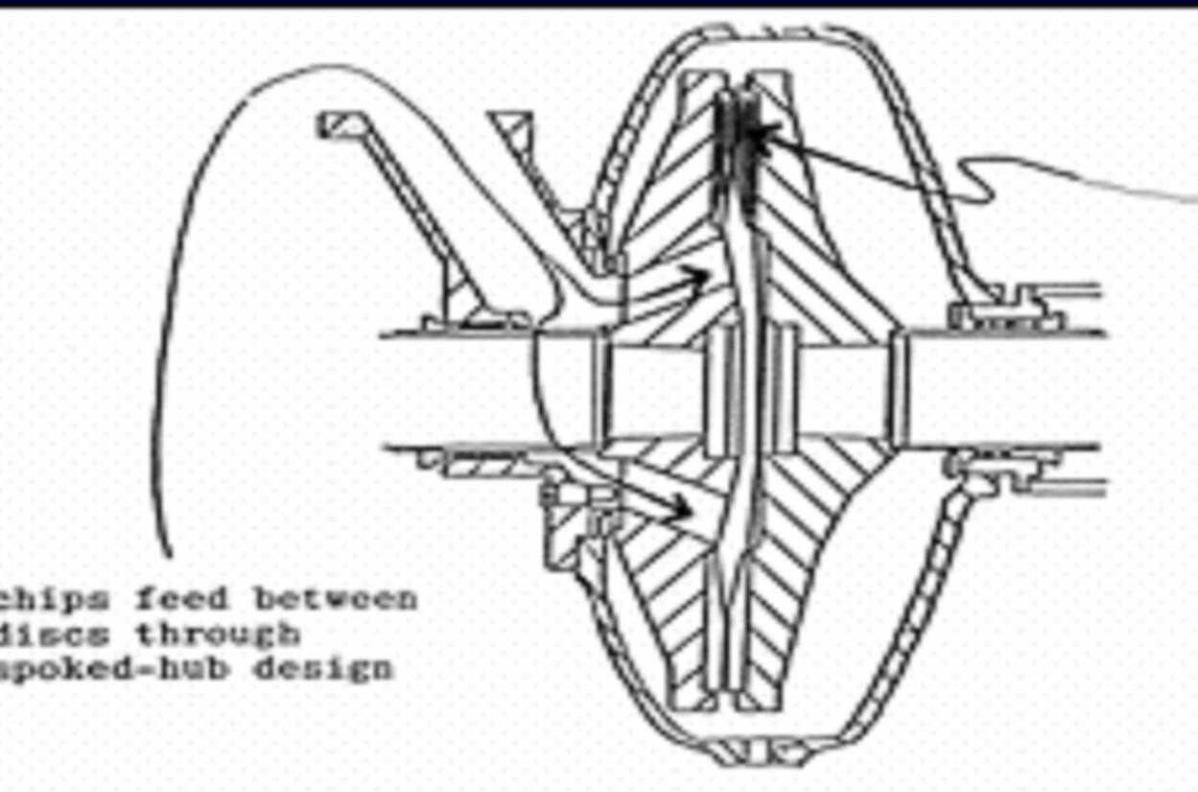
Dados:

- intensidade (A - ampères)
- tensão (kV - volts)
- fator de potência (cada equipamento), geral (0,85)
- fluxo, l/min
- consistência

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

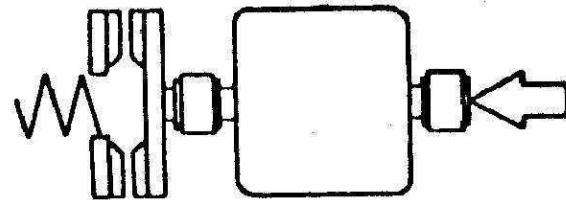
Pasta Mecânica por Refino (RMP)

- Cavacos de madeira são triturados e transformados em fibras por barras fixadas em dois discos rotativos ou um rotativo e outro estacionário.

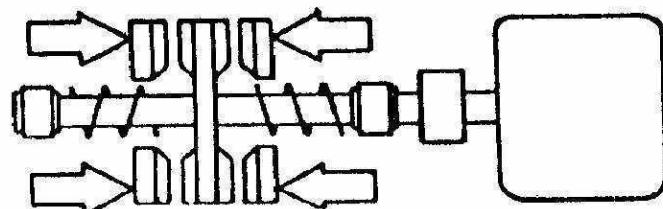


PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

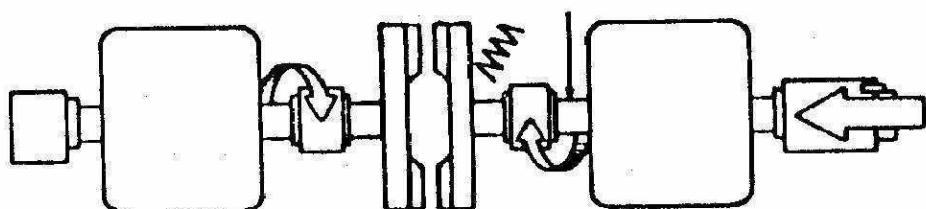
Pasta Mecânica por Refino (RMP)



-refinador de discos simples

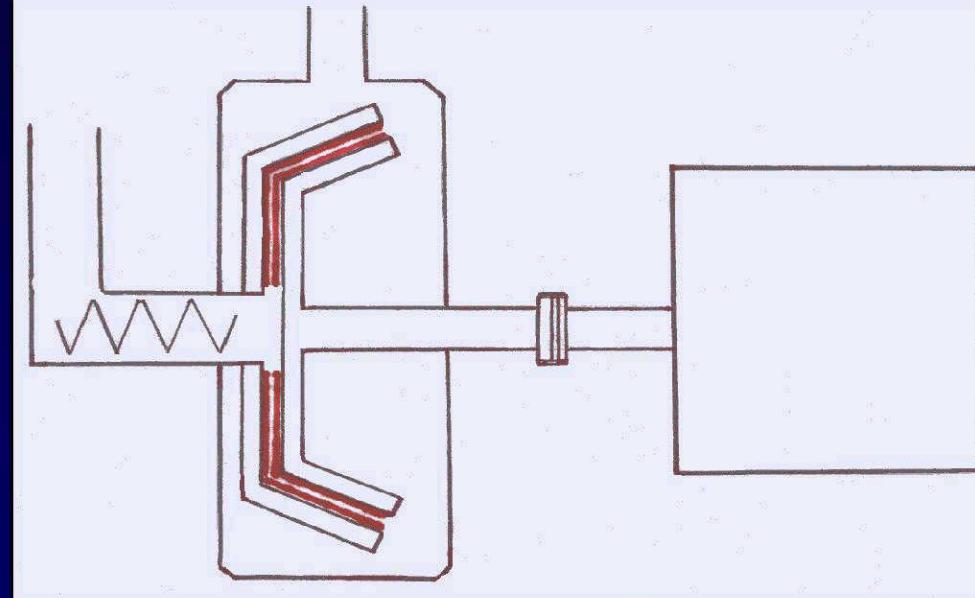


-refinador geminado (duplo)



-refinador c/ acionamento duplo

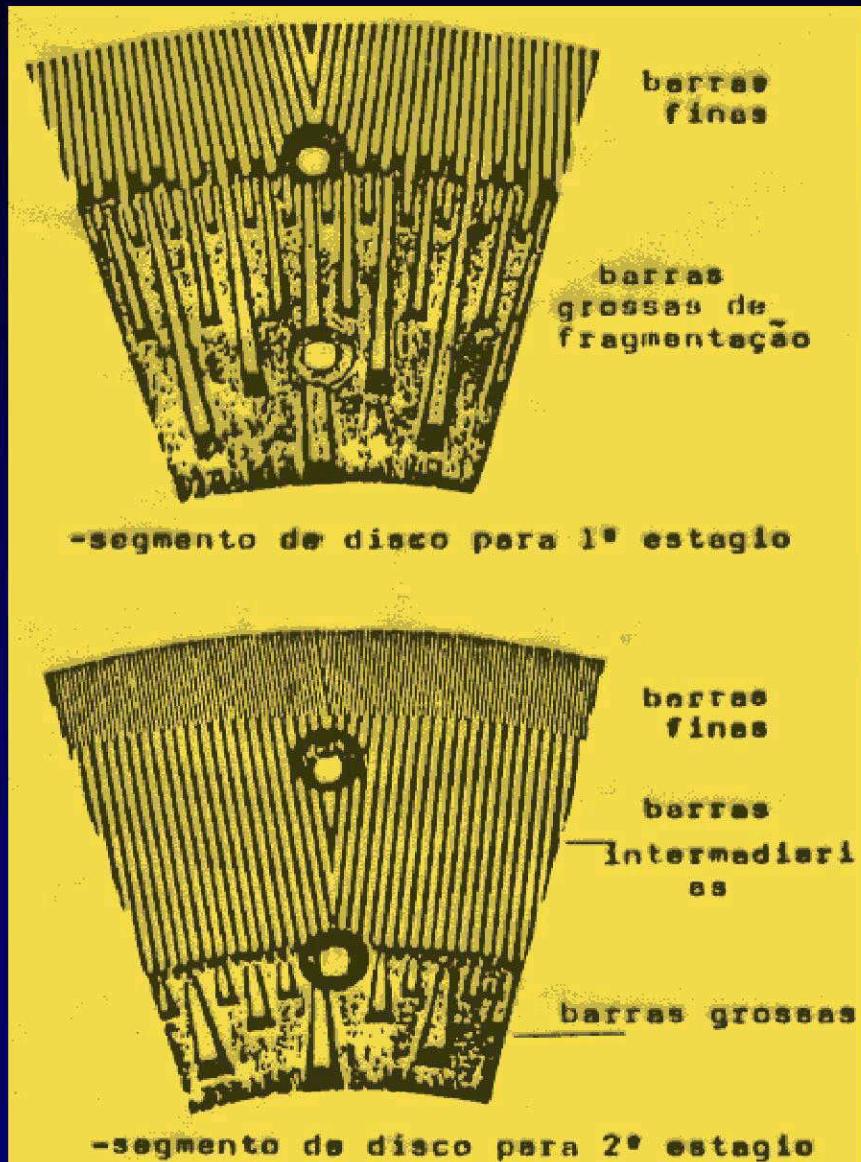
Tipos de Refinadores



Refinador de Discos Cônicos

PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

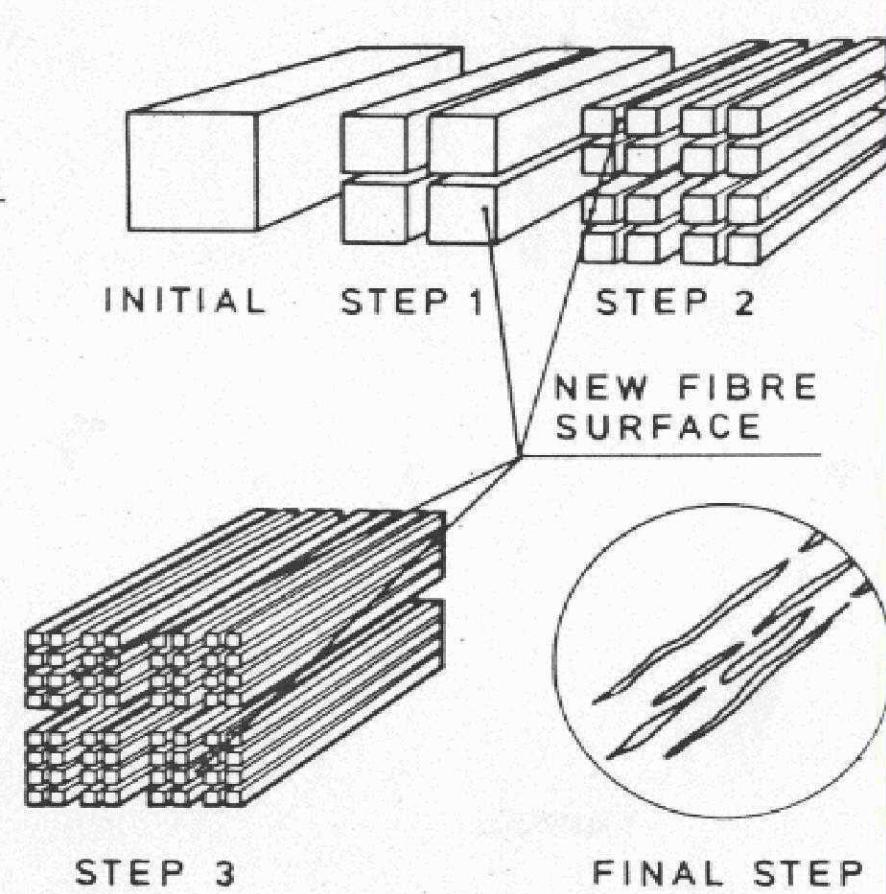
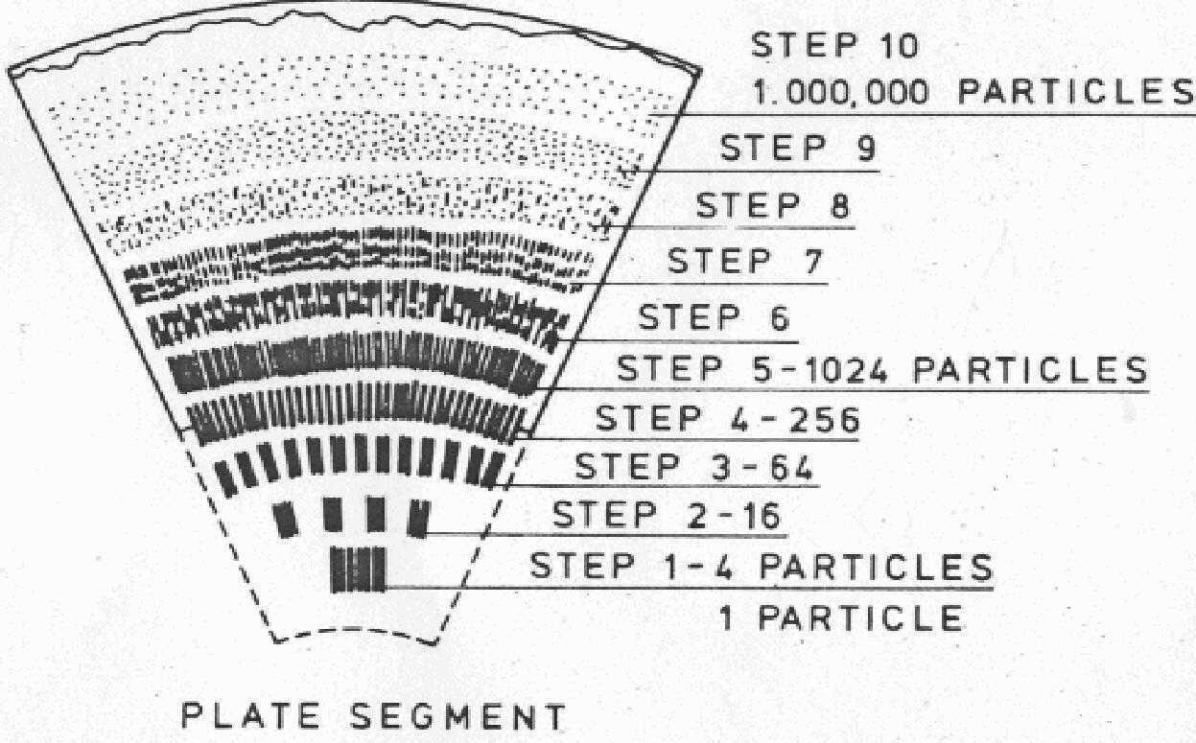


Teoria de Refino

1. Alimentação de cavacos
2. Pressurização
3. Primeiro estágio
4. Segundo Estágio

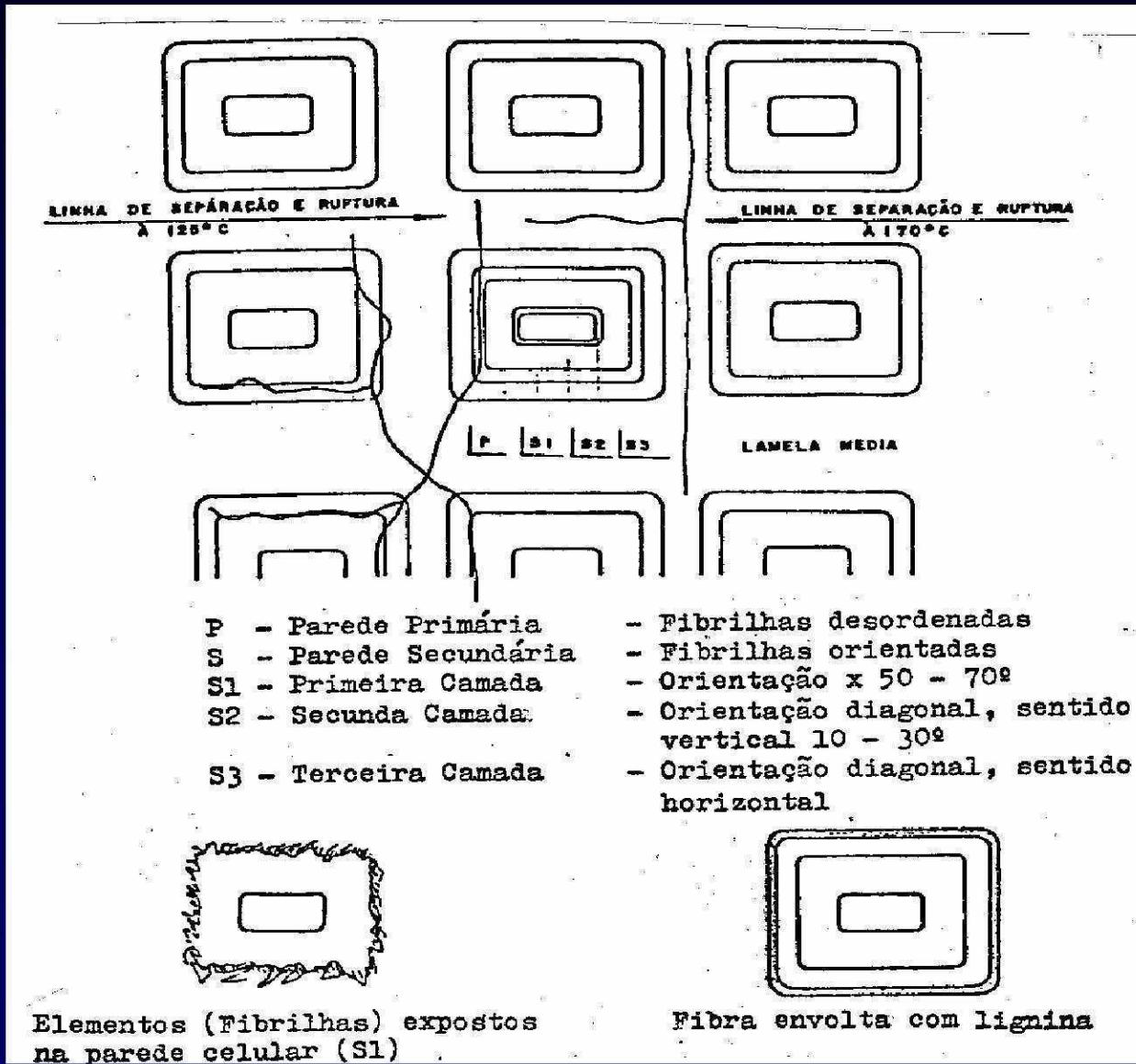
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP) Hipotética divisão de cavaco



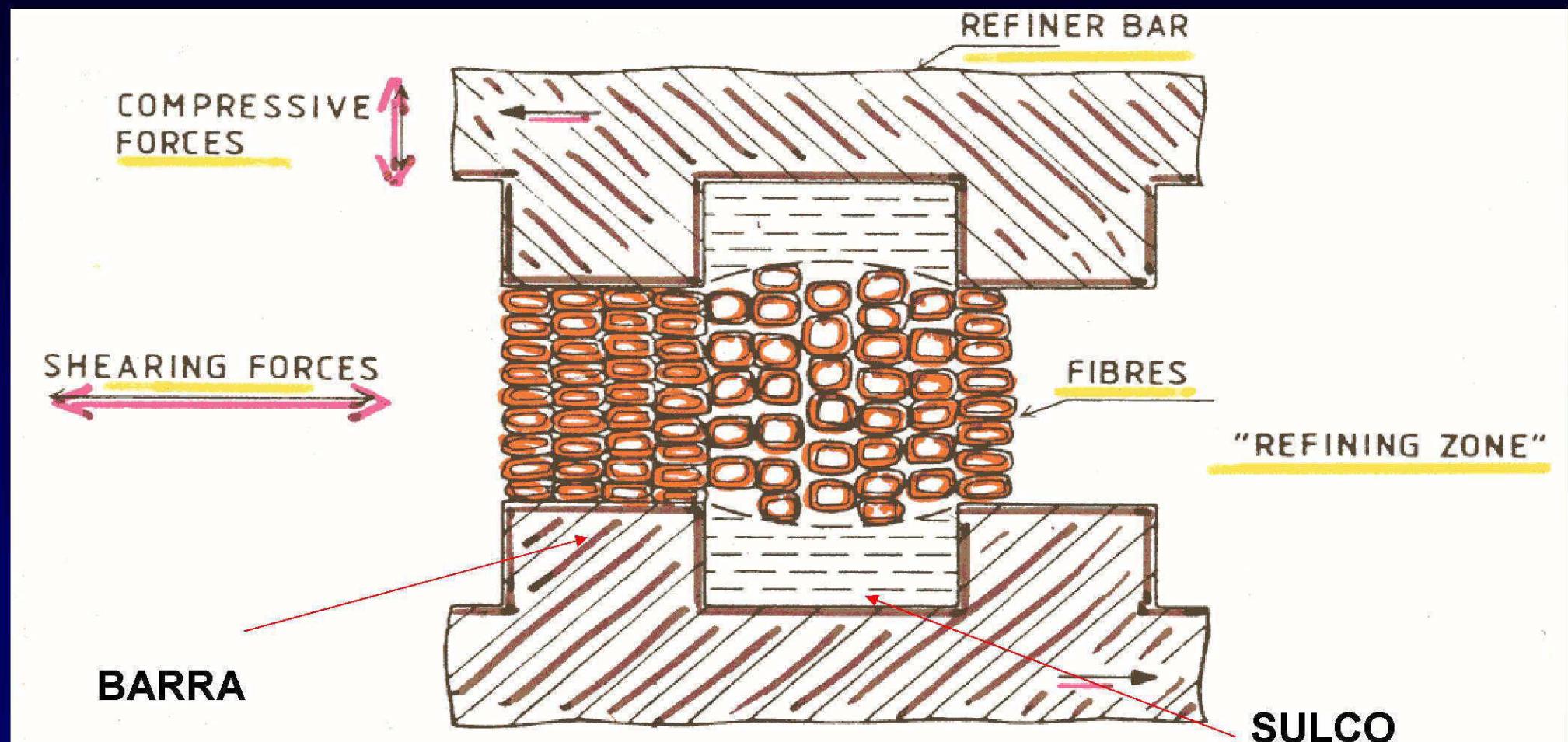
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Efeito de calor na separação de fibras



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

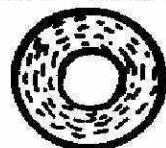
Pasta Mecânica por Refino (RMP) Efeito de vibrações na separação de fibras e na sua qualidade



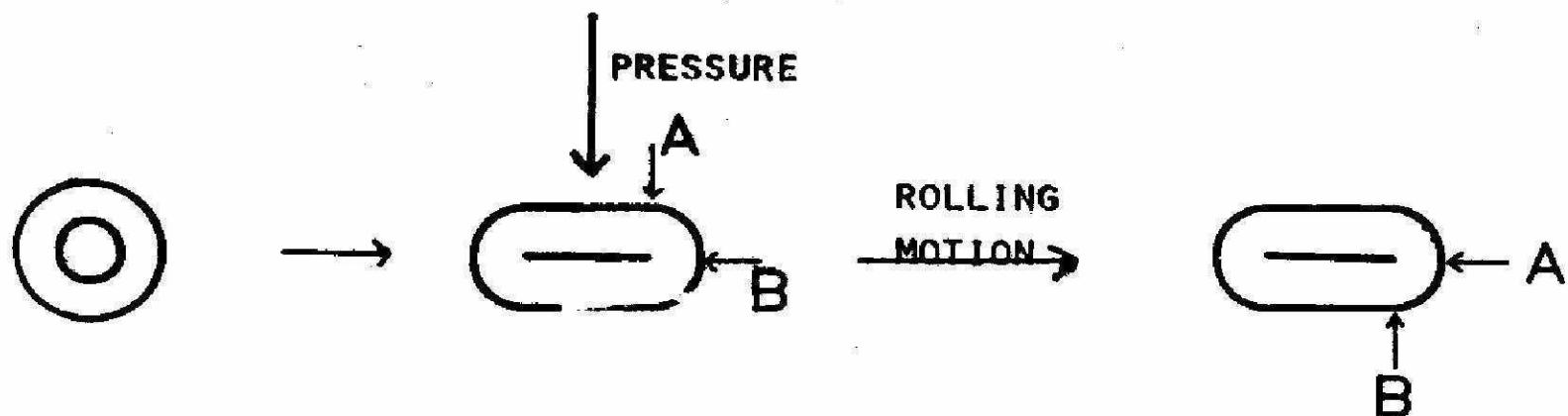
PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP) Efeito de rolar na separação de fibras

LAMINATED
CROSS SECTION

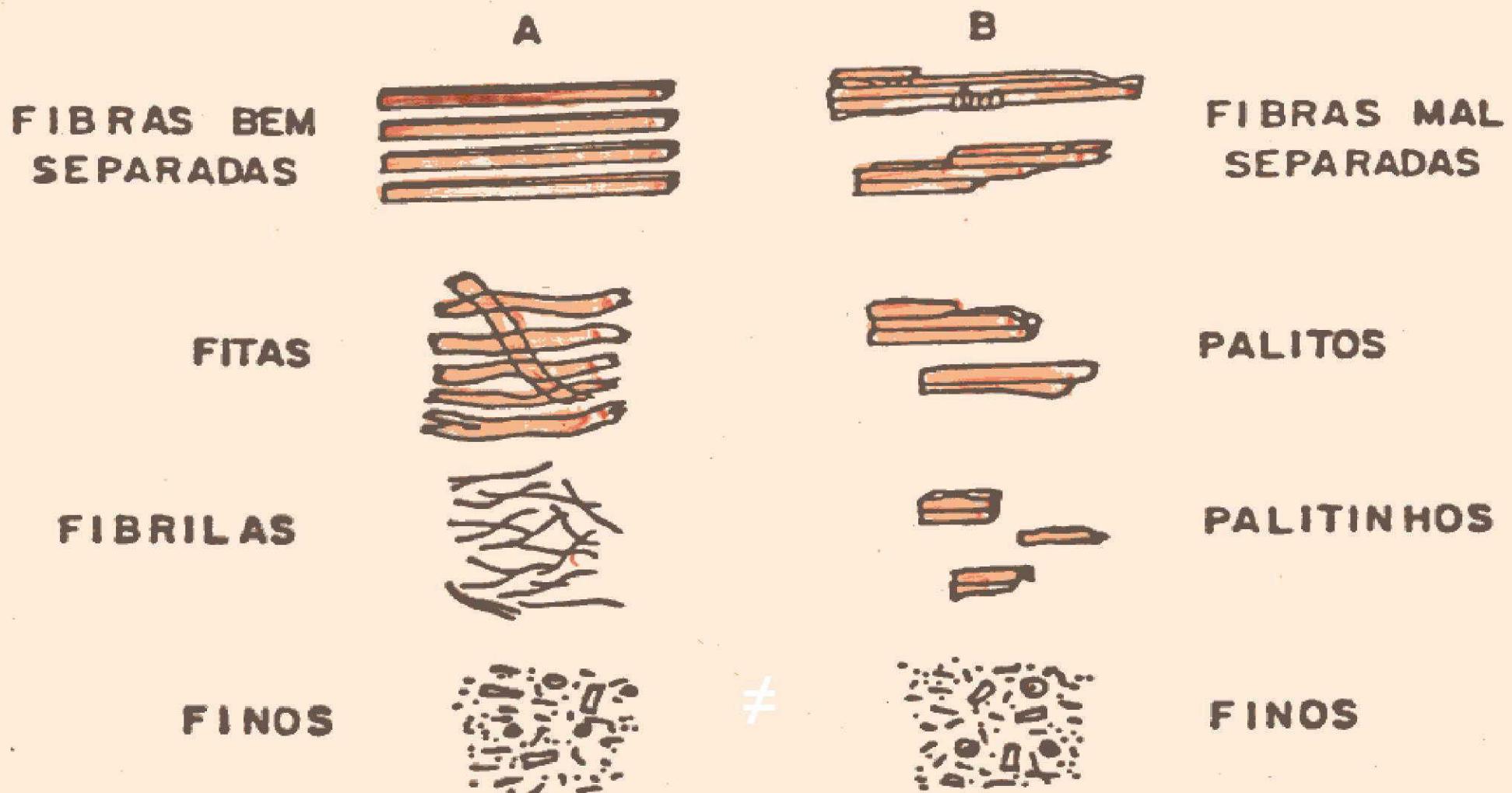


WOOD FIBRE WITH SPIRALLY WOUND CELLULOSE LAYER



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

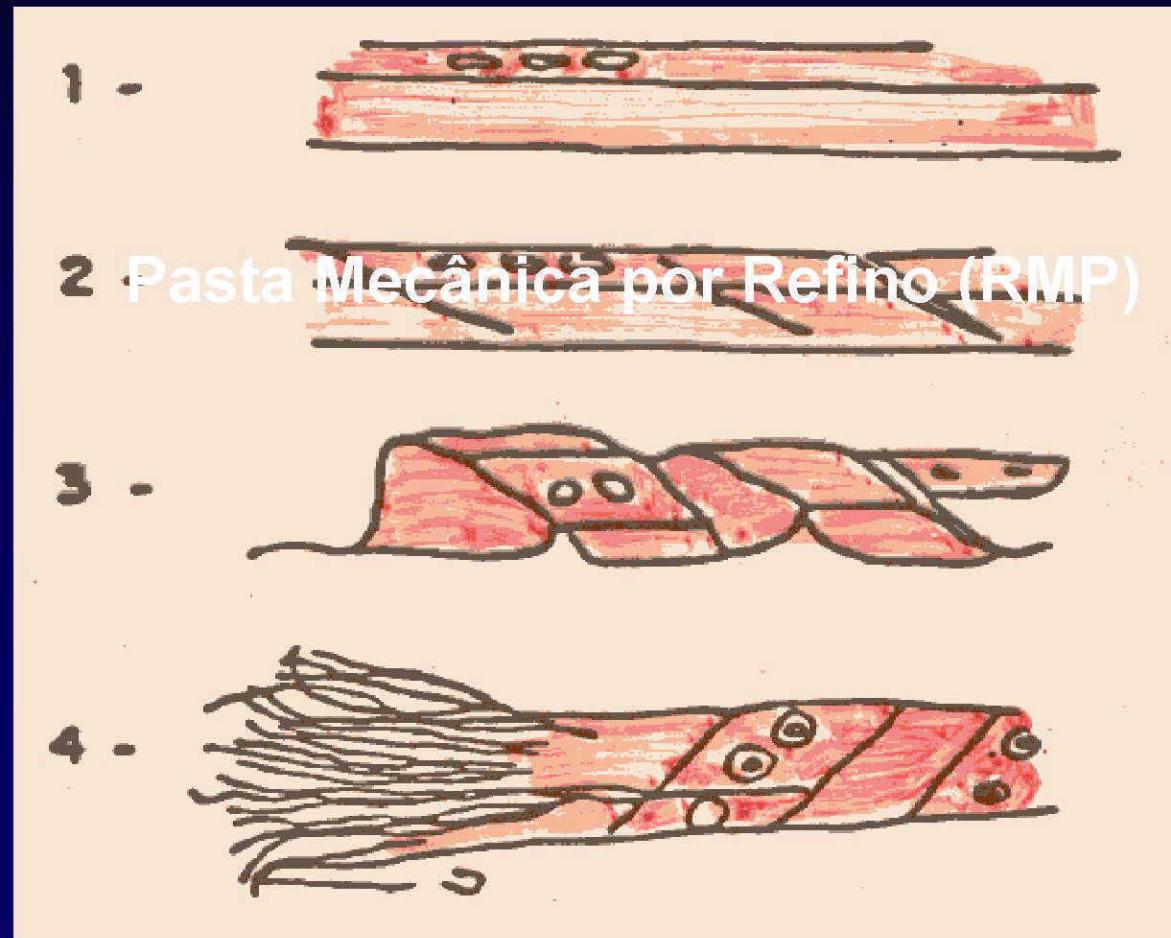
Pasta Mecânica por Refino (RMP) Separação de madeira em fibras



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

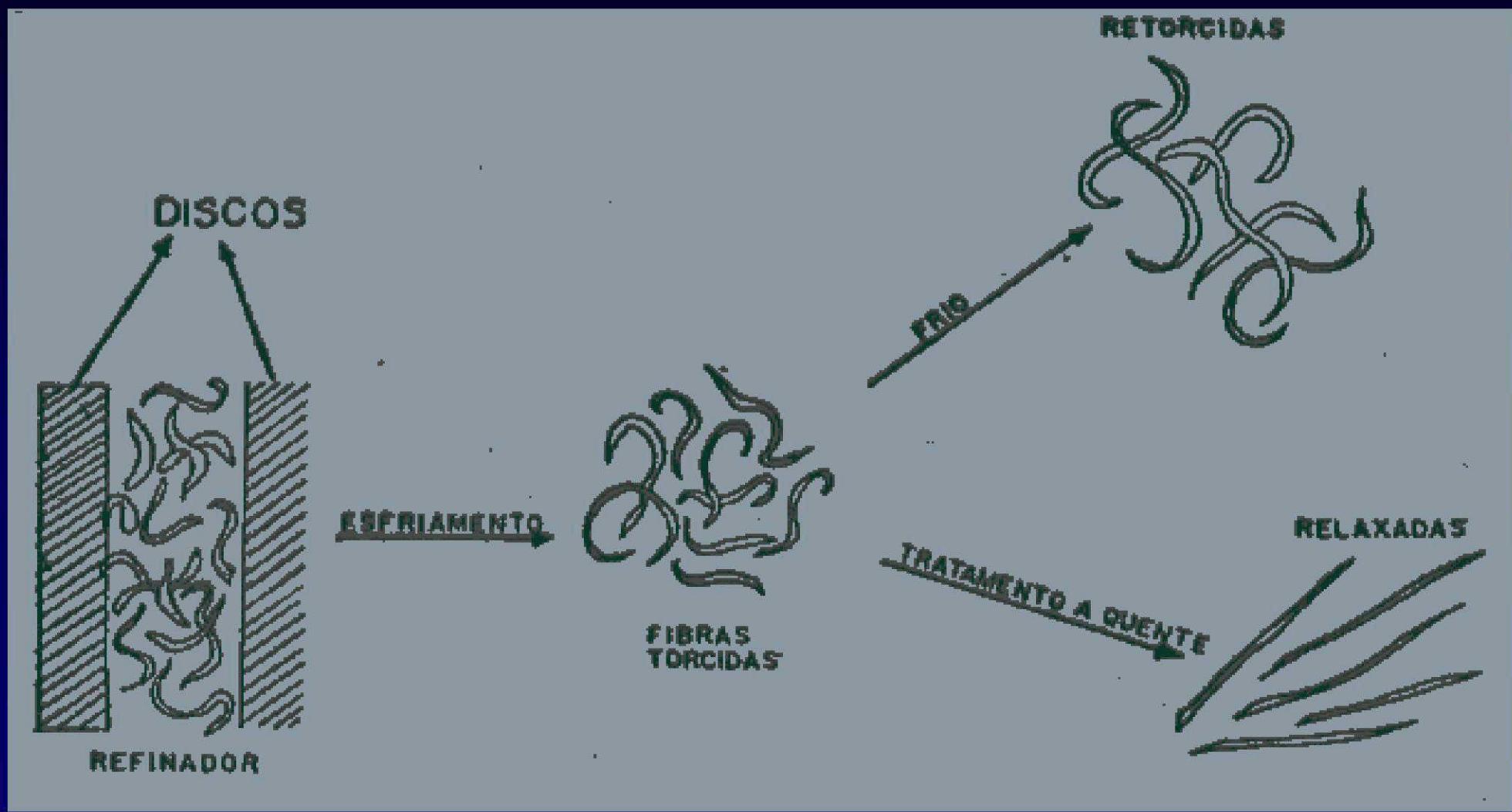
Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Efeito de desenrolar da fibra



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP) Efeito da latêncie



PASTA DE ALTO RENDIMENTO (PAR)

Pasta Mecânica por Refino (RMP)

Tanque de Latênciam

- O tratamento mecânico da madeira no estágio de desfibramento e refino deixa o material fibroso resultante altamente tensionado.
- O material fibroso, quando observado num microscópio, apresenta-se retorcido devido o tipo, número e intensidade dos impactos submetidos no refinador.
- Essas tensões devem ser removidas ou aliviadas da polpa ou pasta para não comprometer as fases seguintes do processo e ou da qualidade final do produto.
- As tensões são aliviadas em Tanque de Latênciam onde a polpa permanece em agitação por certo tempo de retenção e temperatura moderada (50-70oC).