

abcp

**ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA
DE CELULOSE E PAPEL**

DIVISÃO DE ENSINO

Celso Foelkel

**CURSO DE FABRICAÇÃO
DE CELULOSE**

Coordenação: EULINO ALVES AFFONSO
Eng. LEONIDAS LEVITINAS

**FABRICAÇÃO DE PASTAS
MECÂNICAS**

WOŁODYMYR GALAT — CELSO E. B. FOELKEL

676.15

G 146 f

500) PASTA MECÂNICA

16) CELULOSE

270) FABRICAÇÃO DE CELULOSE

t.

DIVISÃO DE ENSINO

Diretor: EULINO ALVES AFFONSO

Vice-Diretor: LEONIDAS LEVITINAS

Coordenadora: MARIA ROSA DOS SANTOS

COMISSÃO DE ENSINO

1. AFFONSO CHUCHI DA SILVA CARMO
(Cia. Indl. de Papel Pirahy)
2. ANTONIO DE BRITO
(Cia. Agrícola e Industrial Cícero Prado)
3. DIMAS DE CARVALHO
(Cia. Suzano de Papel e Celulose)
4. IRENE GOMES
(Rigesa Celulose Papel e Embalagens Ltda.)
5. JOSÉ LUIZ SCARAZZATO
(Indústria de Papel Leon Feffer S.A.)
6. JOSÉ VALCIR SIQUEIRA
(Champion Papel e Celulose S.A.)
7. JURANDYR DE CARVALHO
(Escola SENAI "Theobaldo De Nigris")
8. MAURY FONTES DE ATHAYDE
(Inds. Klabin do Paraná de Celulose S.A.)
9. TAQUEO SENJU
(Ind. de Embalagem Divani S.A.)
10. WANDERLEY MIGUEL PAPALARDO
(Cia. Suzano de Papel e Celulose)

RIO GRANDE - CIA. DE CELULOSE DO SUL

Central de Informação e Documentação

BIBLIOTECA

N.º 1411

Data: 24/3/81

Central de Informação e Documentação

BIBLIOTECA

WOLODYMYR GALAT (MYH)



Químico Industrial pela Escola de Química da Universidade do Paraná (1953). Esteve na Klabin, onde aprofundou seus estudos do processo CGW (pasta mecânica química). Foi Gerente da Cia. Nordeste de Papel, em João Pessoa, e Superintendente de produção na Rigesa,

em Stª Catarina.

Atualmente é Coordenador Industrial da Celulose Nipo Brasileira S.A. - CENIBRA, em Belo Oriente - MG.

Em viagem de estudo, já esteve na Venezuela EE.UU., Canadá, Dinamarca, Suécia, Noruega, Argentina e Peru além do Japão.

Possui vários trabalhos publicados.

CELSE EDMUNDO B. FOELKEL (MAS)



Engª Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da USP, (1970), diversificando em silvicultura. Mestre em Ciências pelas Universidades Estaduais de New York e de Syracuse, nos EE.UU. Apresentou trabalhos e participou de inúmeros seminários,

congressos, simpósios e reuniões nacionais e internacionais. Elaborou mais de uma centena de trabalhos de cunho científico, técnico, didático e de divulgação. Trabalhou durante 3 anos como professor assistente do Deptª de Silvicultura da ESALQ., em Piracicaba-SP. Atualmente, é chefe do Deptª. de Controle de Qualidade da Celulose Nipo-Brasileira S.A, e professor visitante da Universidade Federal de Viçosa, no primeiro curso no Brasil que conduz ao mestrado em Tecnologia da Celulose e Papel.

1. HISTÓRICO

O princípio do século XIX encontrou a indústria de papel despreparada diante das necessidades do desenvolvimento cultural daquela época e que reclamava um número maior de publicações. A indústria de celulose, que supria aquele setor, estava com sérios problemas em conseguir a matéria-prima tradicional para incrementar a sua produção. Enquanto os processos sulfito e Kraft estavam para nascer, o alvejamento não passava da fase cloro-hipoclorito.

1.1. Pasta Mecânica Convencional (PM)

Diante da situação crítica, o espírito inventivo do homem lançou-se à procura de novas fontes de matérias-primas para o suprimento da anêmica indústria papaleira.

Foi nesta época (1843), que F.G. Keller, um encadernador e tecelão alemão, patenteou junto ao Ministério Real das Relações do Interior, o seu invento - a fabricação de papel a partir de uma nova fonte de matéria-prima - a madeira.

Tinha nascido assim a pasta mecânica.

Quanto à paternidade da idéia ou processo em si, há uma competição internacional.

Enquanto os alemães atribuem o invento ao F.G. Keller, os britânicos consideram como pai da idéia o autor de experiências sobre o assunto Mathias Koop. Segundo fontes americanas, Charles Fenerthy da Nova Escócia, teria publicado (1840) o resultado de suas experiências sobre o assunto análogo. Teria sido ele, também quem profetizando, considerou "a flo-

resta uma futura e inesgotável fonte de matéria-prima para celulose e papel".

Por outro lado, há fortes suspeitas de que o processo já existiu anteriormente na clandestinidade, sendo inventado por fabricantes de papel pouco escrupulosos, que usavam a pasta mecânica com adulterante de papéis nobres.

Quanto ao novo processo, Keller instituiu o seu primeiro desfibrador, um engenho constituído de dois rebolos de pedra mineral com 50 cm de diâmetro e que era capaz de produzir cerca de 2 Kg de pasta, por hora. Acumulada a sua produção, Keller conseguiu misturá-la com a celulose de trapos e fabricar, em escala industrial, na fábrica de Alt-Chemnitz, o primeiro papel de pasta de madeira.

Enquanto o novo processo seguia o caminho de aperfeiçoamento, Keller, como muitos outros inventores, passava dificuldades, vivendo seus últimos dias à custa de donativos praticamente, vindo a falecer pobre aos 79 anos de idade.

Coube ao Voelter, diretor de uma fábrica de papel, em Bauten (Alemanha) e, então, o sócio de Keller, a tarefa de levar adiante a fabricação de pasta mecânica. Juntamente com seu irmão, Voelter aperfeiçoou o primeiro desfibrador e introduziu equipamentos auxiliares para depurar a pasta produzida.

A relação de ocorrências, que segue abaixo, dará uma idéia do desenvolvimento e aceitação do processo:

- Em 1.852, a oficina mecânica de J.M.Voith cons-

truiu os primeiros desfibradores em escala industrial.

- Neste ano, já existiam duas fábricas produzindo, regularmente a pasta mecânica (Heidanheim, Alemanha e Gieroudorf, Silésia).

- Em 1857, o "Jornal de Fabricantes de Papel" (belgo-francês) saiu com sua edição, contendo 25% de pasta mecânica.

- Em 1861, foi construída em Poix (Ardenas, Bélgica), a primeira fábrica de pasta mecânica em grande escala.

- Em 1862, durante a feira de Londres, Voelter ganhou primeiro prêmio pela confecção de papel, contendo considerável porcentagem de pasta mecânica.

- De 1867 a 1872, J.M. Voith construiu para EE.UU. e Canadá 136 desfibradores com capacidade entre 40 a 100 HP.

O próprio Voelter construiu ao todo 247 unidades, destinadas a países europeus, Canadá e EE.UU.

A distribuição de unidades de desfibramento através dos continentes contribuiu para envolver o maior número de interessados e maiores capitais para seu aperfeiçoamento.

A prensagem mecânica foi substituída em 1873 pela hidráulica (Berges, 1873). Os desfibradores tinham atingido 150 HP de capacidade e um rebolo de 50-60 cm de largura.

A primeira fábrica no Canadá em Butim, Quebec, funcionou em 1884 e um ano depois Albrecht Patenste-

cher fez funcionar a sua primeira instalação em Curtisville, Mass., EE.UU.

Um episódio que merece um destaque especial por ter contribuído para o desenvolvimento da pasta mecânica, foi a invenção de pasta mecânica marrom.

Os britânicos Knox e Lyman requereram em 1862 a patente para obtenção da pasta de madeira, que consistiu no tratamento térmico de toras com água a 150/170°C, seguido de um desfibramento convencional.

Oswaldo Meyr de Zwikay, Alemanha, a fim de facilitar o descascamento de toras, submetia as mesmas a um tratamento com água quente, e às vezes, vapor somente. A pasta produzida desta madeira vaporizada, resultou num material fibroso, que, apesar de sua alvura baixa, mostrou-se apropriado, para o fabrico de um excelente papel marrom ou papelão. Mesmo após o registro da patente (1872), o assunto somente teve repercussão na literatura técnica em 1873 após a feira mundial em Viena, para onde já foi levado o processo, acompanhado de inúmeras amostras.

O desenvolvimento do processo da pasta mecânica foi responsável pelo desenvolvimento do equipamento auxiliar.

Foi desenvolvido o processo de eliminação de cascas de toras em descascadores semi-mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Em 1890, apareceu primeiro tambor descascador (2-3 m de diâmetro por 6-10 de comprimento). Seguiram-se logo patentes americanas e suecas de outros tipos de descascadores (facas mecânicas, multifrizas, chuveiros de alta pressão).

Para purificação da pasta mecânica, cheia de palitos, fragmentos de madeira e outras impurezas, foram desenvolvidas peneiras vibratórias planas. Em 1882 J.M. Voith construiu o primeiro depurador em escala industrial e com capacidade de 600-700 Kg/dia.

Em 1885, na França, Currier construiu o primeiro de purador centrífugo com uma capacidade de 2,7 t/dia (o mesmo é o princípio dos depuradores centrífugos modernos).

A grande quantidade de rejeitos provenientes dos depuradores levou os fabricantes de pasta a introduzir o novo maquinário para transformá-los em fibras aproveitáveis. Surgiram, então, os primeiros moinhos ou refinadores.

Os primeiros moinhos que eram do tipo mós de pedra operando horizontalmente ou verticalmente, foram introduzidos por J.M. Voith que, como proprietário de uma razoável oficina mecânica e uma moega de gesso, já tinha razoável experiência com moagem.

Mais tarde estes moinhos sofreram diversos melhoramentos e transformações, aparecendo na forma de refinadores de lâminas; paralelas, cônicas ou radiais (holandesas, refinador cônico, refinador de discos).

As primeiras fábricas de pasta mecânica foram localizadas juntamente com as de papel, isto devido às dificuldades de transporte de material fibroso, diluído em grande volume de água. Ao problema de transporte, foi acrescido também o problema de armazenamento, fato este que deu origem ao novo tipo de equipamento auxiliar denominado engrossador.

As tentativas de submeter as suspensões a uma prensagem entre os panos, deu pouco resultado. Baseando-se no princípio de peneira redonda, o inglês Brahma, ainda em 1805, tinha inventado uma máquina para se-car-engrossar as fibras de celulose. Em 1830, o sistema foi melhorado por G. Dickinson, um outro inglês, seguido mais tarde por uma série de novas patentes alemãs, francesas e outras. Surgiram, então, engrossadores gravitacionais e filtros a vácuo, atingindo facilmente consistências de 6-12% e resolvendo o problema de estocagem. As máquinas desaguadoras, constituídas de um sistema de telas e prensas, atingiram facilmente uma consistência de 40%, formando folhas aptas para um transporte rodod-ferroviário.

Foi assim que o novo processo de fabricação de pasta mecânica, ao desenvolver-se e crescer, proporcionou também o desenvolvimento de diversos equipamentos auxiliares.

Logo depois das primeiras experiências e implantações, a idéia de fabricação da pasta de madeira nos E.E.UU. encontrou um ambiente propício e tomou o impulso em ritmo acelerado de desenvolvimento tecnológico da época em geral.

A primeira e segunda guerras mundiais é que mais contribuíram para o progresso definitivo no campo de pasta mecânica.

A monstruosa indústria bélica, em vista de tornar-se obsoleta após os mortíferos combates, passou a fabricar equipamentos para construir a paz. Em resultado, a indústria papeleira, da mesma forma como

as outras, viu-se beneficiada com esta transformação.

Os fracos e limitados em tamanho, os rebolos de pedra natural, foram substituídos pelas estruturas artificiais de maior duração e melhor qualidade, atingindo dimensões de 220 cm de largura por 180 cm de diâmetro, acionados por motores síncronos de maior potência (até 2.500 KW) e controlados por instrumentos de precisão sofisticados.

A afiação dos rebolos passou a ser feita por carretilhas especiais, montadas em tornos hidráulicos e equipados com dispositivos micrométricos de avanço. O fato chegou a proporcionar o melhor acondicionamento da superfície de desfibramento levando também em consideração as espécies utilizadas e a qualidade da pasta desejada.

O manuseio de toras de madeira passou do manual para o sistema mecanizado e altamente automatizado.

O controle de produção e de sua qualidade deixou de ser um caso esporádico, passando a uma rotina, utilizando métodos padronizados.

1.2. Pasta Mecânica nos Refinadores (PMR)

Mais de 80% da pasta mecânica produzida mundialmente, destina-se à fabricação de papel impresso, ou como é comumente chamado papel jornal.

O incremento das edições dos jornais, fez incrementar também a velocidade de "rotativas", sofisticadas máquinas para impressão dos mesmos, tornando-as muito mais sensível e "exigentes" quanto à qualidade do papel utilizado.

Por outro lado, o incremento do consumo de celulose e papéis nos países diversos fez com que as inesgotáveis fontes de matéria-prima, como "profetizadas" pelo americano Fenerthy, um século atrás, começassem a apresentar sinais de inquietante escassez, especialmente no campo das coníferas, então fontes básicas para fabricação de pasta mecânica.

Diante do fato e diante dum fabuloso desenvolvimento no campo de refinadores, foram iniciados estudos e experiências em se modificar radicalmente o método de fabricação de pasta madeira.

A própria indústria da pasta mecânica utiliza hoje mais do que nunca, os pesados refinadores para desintegrar os rejeitos, provenientes dos depuradores transformando-os em pasta aceitável. Deve ter sido esta, então, a origem da idéia de se submeter a madeira, transformada em cavacos, a um tratamento mecânico entre os discos do refinador, resultando num produto final bastante parecido com a pasta de rebo-lo tradicional.

O processo básico (que daqui por diante chamaremos de PMR), segundo K.W. Britt, foi elaborado durante o período 1948/1956 por C.K. Textor. Traz a vantagem sobre o processo tradicional, em poder aproveitar qualquer tipo de madeira, como resíduos de serraria (refile, destopo, costaneira, laminado, inclusive serragem grossa), toras tortuosas, etc.

Foi verificado também que um pré-tratamento químico ou térmico de cavacos antes do desfibramento, pode melhorar significativamente a qualidade da pasta produzida.

Uma grande contribuição para desenvolvimento do processo PMR, deve-se aos próprios fabricantes de refinadores, The Bauer Bross. Co., Sprout Waldron, Desfibrator e outros que, com intuito de promover seus equipamentos, investiram grandes importâncias em estudos e pesquisas sobre o assunto.

A produção de PMR teve um grande impulso, conforme mostra a figura a seguir (K.W. Britt).

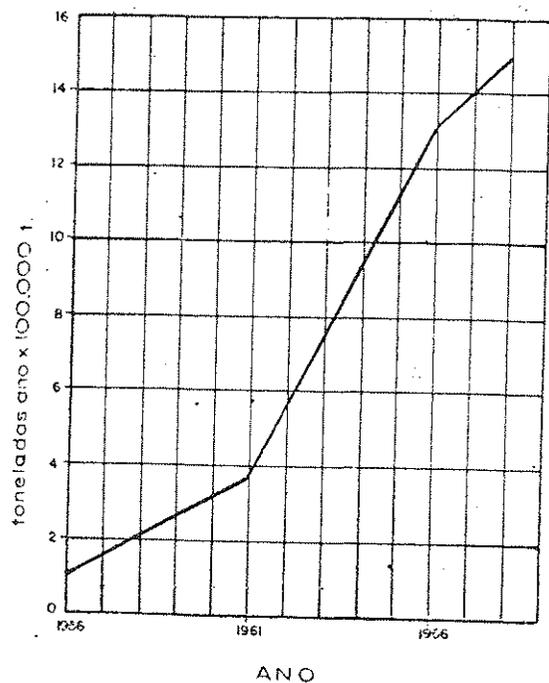


Fig. 1-1. Produção da PMR e PM-química

A sua qualidade inicialmente era razoável, apenas - sendo melhorada após a introdução de algumas modificações no processo, tais como: novo desenho de discos, aumento de rotação, aumento da consistência, de puração seletiva, etc.

1.3. Pasta Termo-mecânica (PTM)

À procura de um processo ideal, onde o fator econômico e a qualidade tivessem atingido o seu nível ótimo, o sueco A. Asplund, em 1931, demonstrou que, quando os cavacos de madeira são tratados com vapor a uma temperatura de 155/180°C e desfibrados sob pressão, a pasta resultante apresenta mais baixo consumo de energia do que aquela produzida à temperatura ambiente. Provou, também, que a qualidade de pasta era superior quando comparada com a convencional ou PMR.

Novo processo, que daqui por diante chamaremos Pasta Termo-mecânica (PTM), encontrou a primeira aplicação na fabricação de chapas para construção, em seguida nas cartolinas e mais tarde no papel para impressos.

Houve, inicialmente, o problema com alvura de PTM, o qual foi superado com a introdução de alvejamento, com peróxido e hidrossulfito. Ficou provado, também, que a combinação do processo PTM com a pré-integração com certos produtos químicos (sulfito de sódio, peróxidos, por exemplo), podem melhorar consideravelmente o grau de alvura do produto.

1.4. Outros Processos

Existe na atualidade uma série de outros processos, para fabricação de pasta de madeira, todos eles re-

sultantes de uma série de combinações entre fatores básicos, quais sejam:

- Tipo de equipamento (rebolo ou refinador)
- Temperatura de desfibramento (ambiente ou elevada)
- Forma de madeira (toras ou cavacos)
- Pré-tratamento químico (sem ou com).

A escolha do método no caso, depende de uma série de condições locais, tais como fator econômico de implantação, disponibilidade e tipo de matéria-prima, aplicação final do produto, custos, aproveitamento do equipamento já instalado e outros.

Com o crescente consumo de papéis e a demanda de matérias-primas consideradas tradicionais, parece-nos que PMR e PTM, estimuladas pelos fabricantes de equipamentos e projetos em grande escala, estão seguindo um rumo de futuro bem promissor.

2. FABRICAÇÃO DE PASTA MECÂNICA CONVENCIONAL (PM)

2.1. Introdução

2.1.1. Desde a sua invenção em 1843, a Pasta Mecânica, seguindo um caminho de constantes modificações e melhoramentos ocupa hoje em dia uma posição de destaque na fabricação de papéis para imprimir, papel jornal especialmente.

Segundo K.W. Britt, a produção mundial da PM é superior a 23.000.000 (vinte e três milhões) de toneladas, tendo incrementado sua produção nos últimos cinco anos apenas, em quantidade de um milhão por ano.

Do ponto de vista tecnológico, a Pasta Mecânica Convencional é considerada como material fibroso, obti

do a partir da madeira pelo processo mecânico, numa ação abrasiva do rebolo em revolução.

2.1.2. O seu rendimento na ordem de 95% constitui um dos fatores que a valorizam e a estrutura das fibras (40/50% do seu peso) é basicamente idêntica à da madeira. O restante é constituído de fibras bastante danificadas, denominadas "finos", os quais não possuem nem aspecto, tão pouco características de fibras naturais.

Uma parte dos finos, constituída de componentes da parede celular é aceitável e necessária para a formação de papel; a outra denominada "farinha" serve apenas como "enchimento" na formação de papel ou então, constitui perdas do processo.

Os finos, devido sua forma e capacidade de aderência ("fiber bonding"), constituem um importante componente da PM, responsável pela resistência física, do papel formado.

Um outro componente da Pasta Mecânica é constituído de resinas, cujo teor pode atingir até 3% especialmente na espécie Pinus elliottii. É um componente indesejável porque contribui para alisamento das su-perfícies de rebolo durante o processo de desfibramento, forma depósitos nas peneiras, telas e feltrões provoca quebras nas máquinas e, finalmente, como elemento hidrófobo, prejudica a ligação entre fibras durante a formação de folha de papel.

2.1.3. Devido seu alto rendimento, o preço da Pasta Mecânica é relativamente baixo, em relação ao da celulose, quase na ordem 1 para 2 mas, fato este não

significa que a PM é um produto inferior. Para a fabricação de papel jornal, por exemplo, seu uso é, praticamente indispensável.

Sob o ponto de vista de resistência física, a Pasta Mecânica é uma matéria-prima inferior à celulose.

Em se tratando de papel imprensa, a resistência física é de importância secundária. As características de opacidade, maciez, absorvência, aliadas a um baixo custo, fazem da Pasta Mecânica, matéria-prima de grande valor.

O maior consumidor de pasta é a indústria gráfica para periódicos, visto que 75% a 80% de papel jornal é constituído da mesma, sendo que a celulose faz parte complementar. Deve-se frisar o fato de que a imprimibilidade melhora com o aumento da percentagem da Pasta Mecânica. A razão disto é muito simples. Quando, durante a impressão, a tinta é transferida para o papel, este absorve óleo mineral, permanecendo na superfície a camada corante (carvão vegetal no caso). Especialmente quando a impressão é feita a alta velocidade (nas rotativas modernas), a absorção deve ser mais rápida ainda. Conforme prática, confirmada pelos dados e citações na literatura, unicamente a Pasta Mecânica pode preencher tais requisitos. Agora, uma boa qualidade da Pasta Mecânica proporciona uma rápida absorção de tinta, sem no entanto, permitir que a mesma chegue a transparecer do lado oposto. Em outras palavras: a estrutura capilar do papel jornal deve ser controlada de modo que permita a uma rápida absorção de tinta, sem uma penetração exagerada (excessiva).

Pelas mesmas razões a PM tem aplicação como compo-

nente em outros tipos de papéis (papel higiênico) e moldados.

Como terceiro consumidor da PM podem ser considerados os papelões e cartolinas, onde alta corpulência que os deixa mais duros e rígidos, é de maior importância.

2.1.4. Podemos citar também outras boas propriedades de pasta (isto do ponto de vista do fabricante de papel):

- a) Pode ser usada tal qual, sem necessidade de um preparo especial, como refino, por exemplo;
- b) Deságua facilmente na tela das máquinas;
- c) Pode ser prensada facilmente até consistências e levadas;
- d) Não encolhe demasiadamente durante a secagem;
- e) Pode ser fornecida bastante limpa, livre de rejeitos ou aglomerados de fibras;
- f) É bastante uniforme.

Por outro lado, a Pasta Mecânica tem também as suas desvantagens:

- a). É dificilmente dimensionável;
- b) Sua alvura é limitada;
- c) Quando exposta à luz solar ou armazenamento prolongado, mesmo alvejada, torna-se amarelada e quebradiça e perde parcialmente suas qualidades de absorção, não podendo ser recomendado seu uso para livros ou publicações;

d) Sua capacidade de alveamento é limitada;

e) Não pode ser usada como componente para papéis, onde requer resistência física.

2.2. Matéria-Prima

A tradicional fonte de matéria-prima para a fabricação de PM são as madeiras de coníferas, caracterizadas pelas fibras longas.

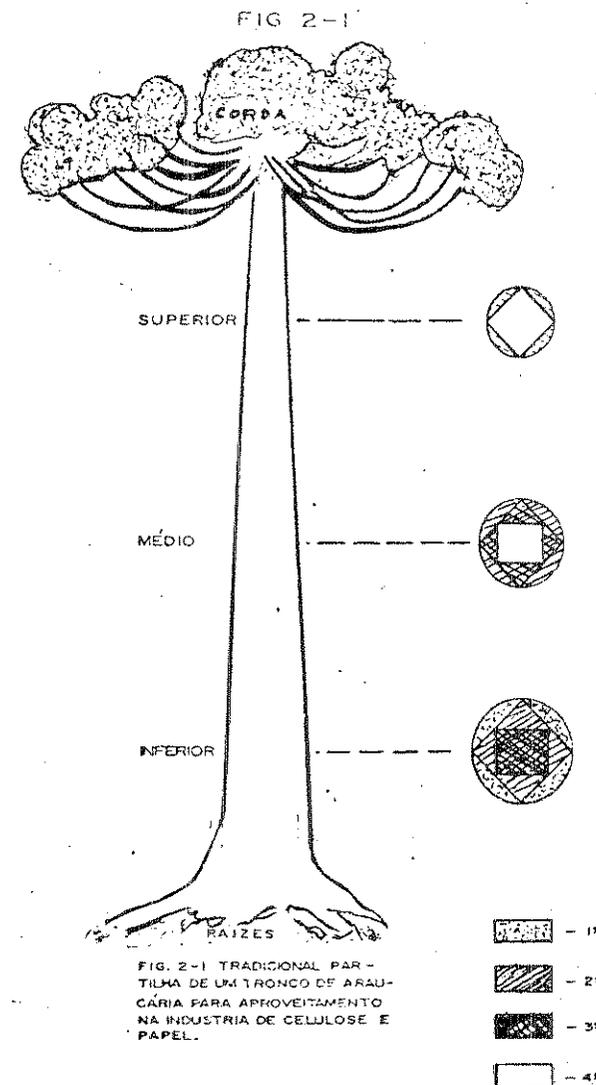
A espécie tradicional usada no Brasil é ainda hoje Araucaria angustifolia ou Pinheiro paranaense, considerado uma das fibras mais longas entre as coníferas.

Recentemente estão sendo utilizadas, em porcentagem reduzida, certas espécies de Pinus, especialmente taeda e elliottii.

Certos países como Austrália, por exemplo, produzem sua PM a partir de Eucalyptus, espécie regnans, obliqua e outras.

A madeira, já sem casca, é fornecida, geralmente em toras de 120 cm de comprimento, às vezes maior (160 cm), conforme a largura do rebolo.

Em princípio, a madeira deve ser costaneira de primeira qualidade, mas, devido ao incremento da demanda, usa-se também qualidade de 2ª ou 3ª, às vezes, dependendo de condições locais. Deve-se evitar toras contendo nós que, juntamente com resinas, causam em pastamento da superfície de rebolos e problemas no tratamento posterior da pasta na fabricação de papel propriamente dito. Não podem ser usadas também, toras tortuosas ou com forquilhas.



2.3. Equipamentos

2.3.1. Desfibradores

A PM é fabricada em máquinas apropriadas, denominadas desfibradores.

Em quase todos os tipos de desfibradores encontramos o mesmo princípio de funcionamento e mesmos elementos, que poderiam ser resumidos em 4 partes fundamentais:

- Pedra-rebolo em movimento rotativo;
- Depósito para madeira;
- Chuveiros para reduzir a temperatura e evacuar a pasta produzida;
- Dispositivo para afiação (tornar áspera a superfície do rebolo).

A principal diferença entre vários tipos, consiste na diferença entre os depósitos para madeira e na maneira de comprimir a madeira contra o rebolo em movimento. Assim temos:

- a) Desfibrador de bolsa simples (3 ou mais bolsas);
- b) Desfibrador Great Northern;
- c) Desfibrador de coroa (Ring Grinder);
- d) Desfibrador de correntes (Chain Grinder);
- e) KMW - Hydra-Grinder;

a. Desfibrador de Bolsas

É um dos tipos mais antigos. Pode haver 2, 3 ou 4 - bolsas. A madeira é introduzida nas bolsas manualmente, sendo comprimida com pistões movidos hidráulicamente. A medida que a madeira é consumida, o curso do pistão chega até a pedra e volta, para se proceder o novo carregamento da bolsa. Sua produção, por tanto, é intermitente, bastante reduzida (12/15t/dia de pasta) e mão-de-obra para carregamento bastante elevada. Não se adapta à alimentação, automática.

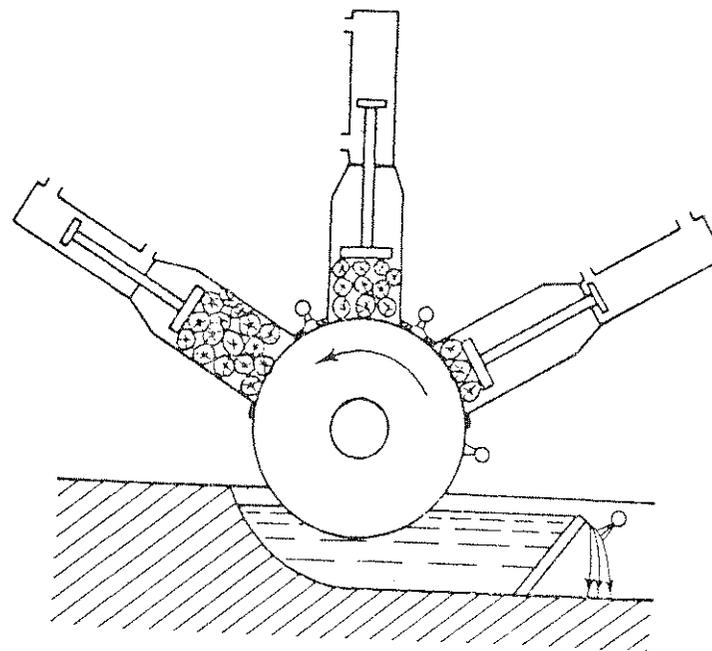


Figura 2-2. Desfibrador de três bolsas

b. Great Norther Grinder

É também um desfibrador de 2 bolsas, montadas em sentidos opostos, possuindo cada uma um depósito reserva, montado na parte superior da bolsa. Quando o pistão recua, a madeira do depósito-reserva desce para a bolsa, iniciando um novo ciclo de desfibramento. A estrutura deste tipo de desfibrador é bastante forte, suas dimensões, inclusive a capacidade de produção bastante variáveis, atingindo 80t/dia. É um tipo americano, de funcionamento intermitente, proporcionando boas condições para alimentação automática.

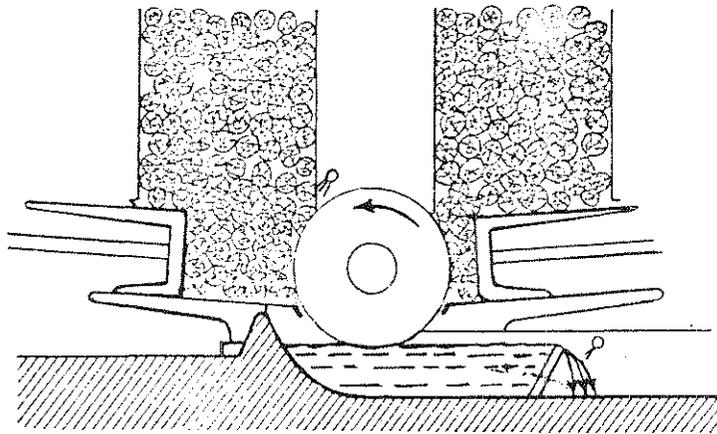


Figura 2-3- Desfibrador Great Northern

c. Chain Grinder

Desfibrador de corrente ou Staetigschleifer, de fabricação alemã (Voith).

É de produção contínua, sendo muito comum nos países europeus.

A alimentação, que pode ser facilmente automatizada é feita através de uma bolsa. Existem duas correntes alimentadoras que fazem comprimir a madeira contra a pedra. Devido ao seu caráter de operação contínua (não existe relaxamento na aplicação de carga), oferece condições para automatização de alimentação, como também a mais uniforme qualidade da pasta produzida.

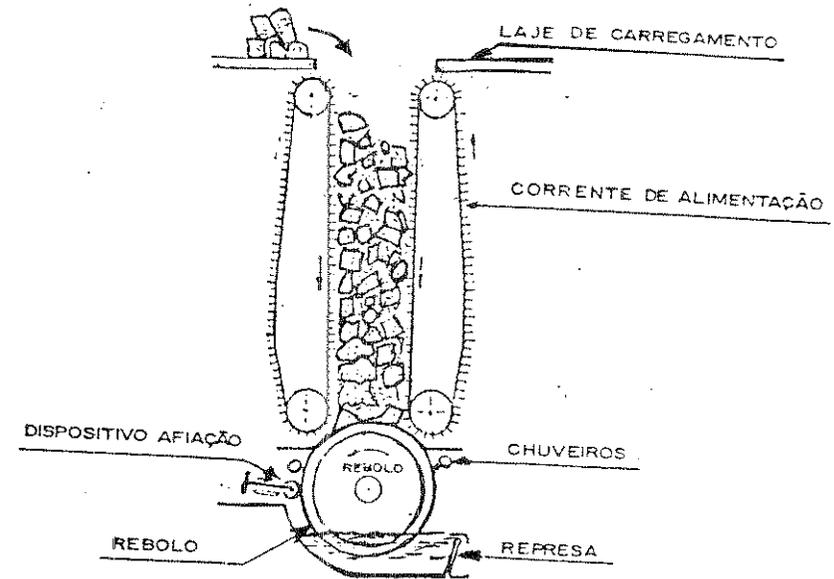


Figura 2-4. Desfibrador de Corrente

d. Desfibrador de Anel (Ring Grinder)

Baseando-se num princípio de compressão de madeira, completamente diferente, este desfibrador possui uma coroa (um anel) de ferro fundido, móvel, com uma espécie de engrenagem, dentro da qual, em posição excêntrica, gira o reboło. Ambos, isto é, coroa e pedra, giram no mesmo sentido, porém, em diferente frequência de rotações: a primeira com 1 revolução/hora e a segunda 240 rpm. A madeira é colocada na bolsa que se forma entre o anel (coroa) e a pedra. É um desfibrador contínuo, porém, apresenta dificuldades no que diz respeito à alimentação automática.

O espaço reduzido que ocupa é uma de suas vantagens.

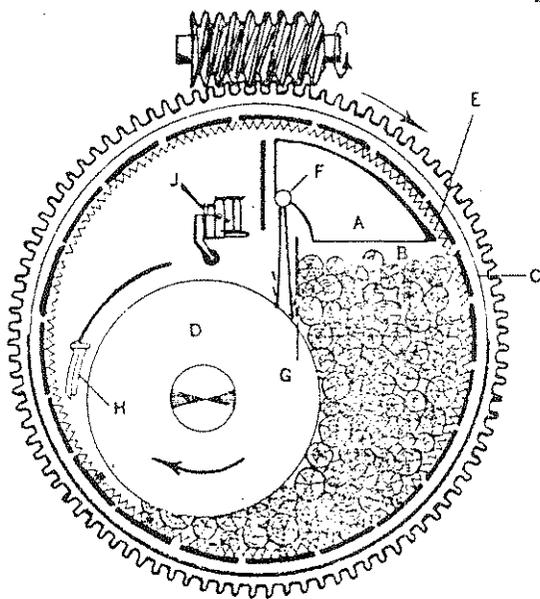


Figura 2-5. Desfibrador de anel

e. Hydra Grinder

Desfibrador KMW é um desfibrador tipo "Chain Grin - der", porém, sem corrente. A compressão da madeira é feita por um sistema de sapatas (um par de cada lado do depósito) que, trabalhando alternadamente, com primem a madeira contra a pedra de uma maneira contínua e uniforme. É constituído em várias dimensões (de 1,0 até 2,50 m de largura útil), havendo um aci onamento de até 8000 HP. Muitos consideram a Hydra-Grinder como sendo a última palavra em matéria de desfibradores.

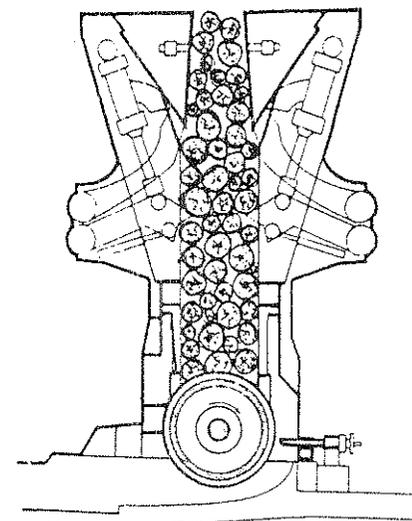


Figura 2-6. Desfibrador Hydra

f. Desfibrador Rotativo

Foi desenvolvido por Pier Bersano, Itália, sendo que o princípio do seu funcionamento difere completamen te dos desfibradores convencionais. Consiste em uma série de engrenagens cônicas arranjadas em várias se ções, de modo que atribuem à lasca um movimento ro tativo e fazendo com que esta avance para frente. O desgaste (desfibramento) da madeira é feito de se - ção em seção pelas próprias engrenagens em camadas (ao avançar a lasca torna-se cada vez mais fina, até o desgaste total). Por enquanto a divulgação sobre o novo desfibrador foi pouca e quase não se sabe nada re peito do rendimento, energia aplicada e qualidade da

pasta do mesmo. Podemos adiantar que somente pode tra balhar com a madeira selecionada, reta, roliça, o que sem dúvida alguma, representa uma desvantagem.

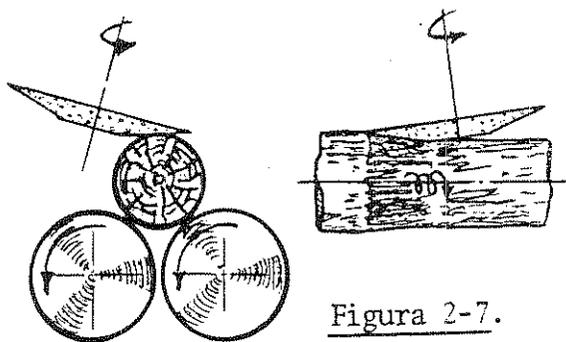


Figura 2-7.

A capacidade de produção dos desfibradores varia também de acórdo com o tipo e especificação: de 7-14t/dia para um desfibrador de bolsa, por exemplo, até 80-100 t/dia para Great Northern ou Hydra.

A comparação entre os vários tipos de desfibradores como também a escolha do melhor tipo para uma determinada indústria não é muito fácil. Devem ser levados em consideração, neste caso, vários fatores, entre os quais, espécie de madeira a ser utilizada, as experiências do mercado em relação ao papel produzido, custo de mão-de-obra, etc.

Um fator importante é também a manutenção dos mesmos.

2.3.2. Pedra ou Rebolo

Pedra é a peça nº 1 do desfibrador.

Inicialmente foram levados em consideração apenas re

bolos de pedra natural (espécie de arenito), osquais no entanto, devido às suas características naturais, apresentaram sérias desvantagens, tais como: dimensões limitadas, ciclo de afiação muito curto, qualidade deficiente da pasta produzida, vida reduzida.

Apesar de serem usadas ainda hoje em mais de 180 pequenas fábricas no Paraná, Santa Catarina e São Paulo, todas as fábricas de porte maior usam os rebolos artificiais.

Na Alemanha, por volta de 1920, surgiram os primeiros rebolos artificiais fundidos em concreto, contendo uma composição especial de carbureto de silício e quartzo com bauxita, com uma granulação apropriada para cada tipo de pasta produzida e espécie de madeira utilizada. São conhecidos hoje os rebolos Hércules (Alemanha) e Norrona (Noruega).

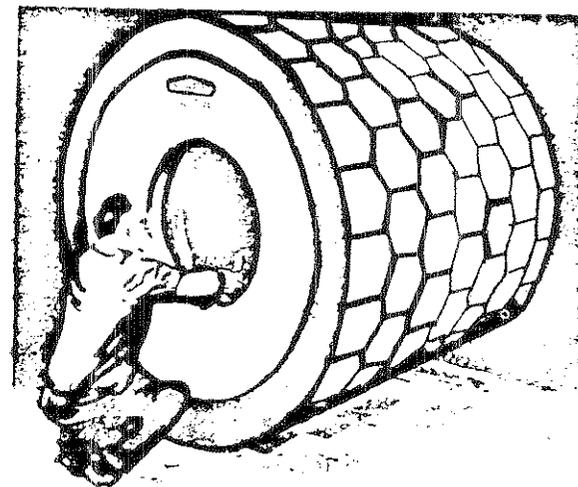


Figura 2-8. Rebolo Artificial

As firmas americanas Norton e Caborundum estão confeccionando tipos especiais de rebolo de cerâmica. Consistem estes de uma sólida estrutura-base de concreto armado, sobre a qual acham-se embutidos os segmentos de uma mistura especial de carbureto de silício e óxido de alumínio, junto com uma liga de feldspato e argila, curados a 1000°C. Existem várias qualidades destes rebolos, no que diz respeito ao tamanho de grânulos, distância entre os mesmos, liga utilizada, dureza, densidade, etc.

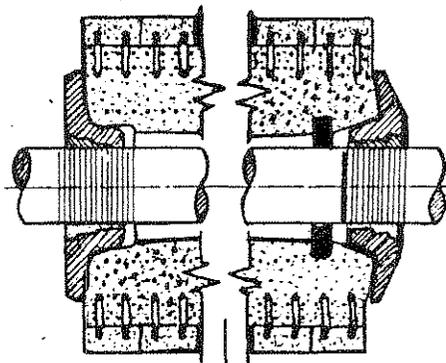


Figura 2-9. Corte axial de um rebolo artificial

Os rebolos de concreto são mais baratos, durabilidade de 1 1/2 - 2 1/2 anos e com um ciclo de afiação mais curto (2 - 3 dias aproximadamente).

Rebolos de cerâmica são mais caros porém, com uma durabilidade de 3-5- anos e com ciclo de afiação ao redor de 5-6 dias em média. Apresentam uma vantagem sobre os de cimento, no caso de reparos da superfície, quando danificada, pelo tratamento inadequado ou acidente durante montagem ou trabalho. Enquanto os segmentos nos rebolos de cerâmica podem ser simplesmente substituídos, os rebolos de concreto não possuem

esse recurso.

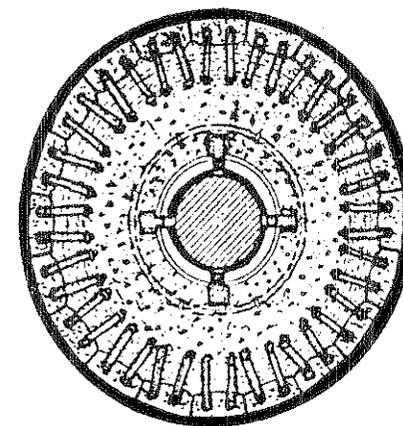


Figura 2-10. Corte transversal de um rebolo artificial.

A escolha de rebolos para uma instalação de Pasta Mecânica merece todo o carinho e cuidados especiais.

Devem ser levados em consideração vários fatores: as espécies de madeira a serem utilizadas, qualidades de pasta produzida, manutenção mecânica e outros. Frequentemente utiliza-se duas ou mais qualidades de rebolo diferentes a fim de obter uma mistura adequada ou mesmo verificar qual é que melhor se adapta às determinadas condições locais.

2.3.3. Preparo de Superfície (Afiação)

Os rebolos, quando em produção, devem ser afiados periodicamente. Conforme já mencionado anteriormente, os de concreto cada 1-3 dias e os de cerâmica cada 4-5 dias ou pouco mais.

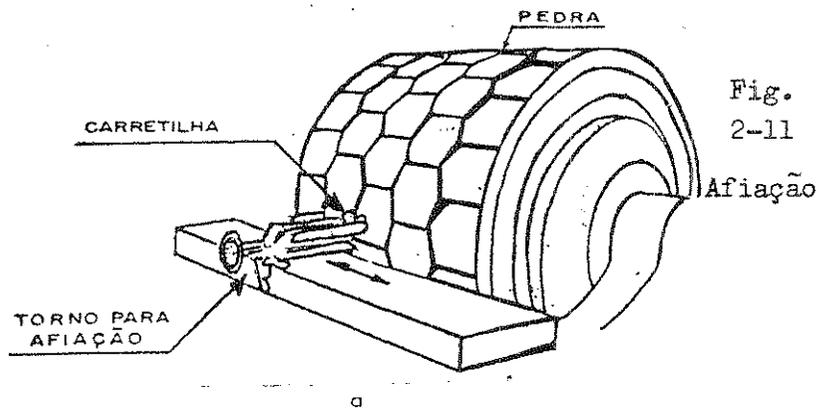
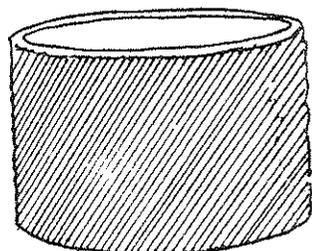
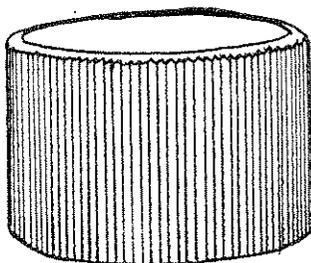


Fig. 2-11



b



c

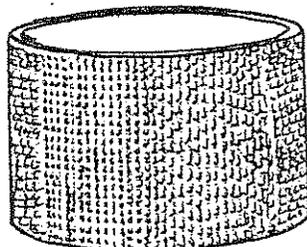
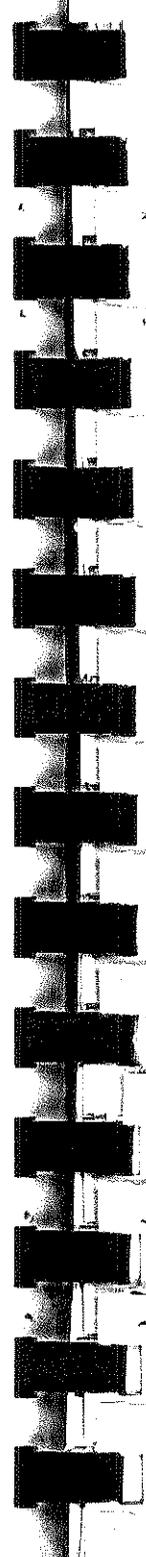


Figura 2-12.

Carretilhas



O processo de afiação consiste em imprimir na superfície do rebolo, através de uma ferramenta apropriada, uma espécie de ranhura, tornando-o ao mesmo tempo mais cilíndrico.

A ferramenta utilizada neste caso, é um cilindro de aço que chamamos de carretilha, em cuja superfície encontram-se as ranhuras de inclinação e distância já padronizadas. A distância entre as ranhuras e grau de inclinação das mesmas em relação ao eixo, tem grande influência sobre a qualidade da pasta produzida.

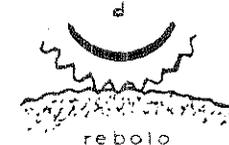
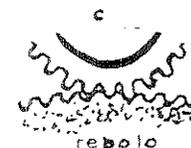
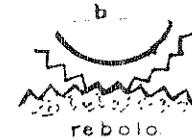
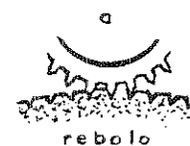


Figura 2-13. Detalhe dos dentes da carretilha.

A carretilha nº 10 x 1 1/2 indica, por exemplo, 10 ranhuras por polegada e 1 1/2 polegada é o comprimento da projeção ortogonal da ranhura sobre a base. Em outras palavras, o primeiro algarismo indica a frequência de ranhuras e o seguinte, o grau de inclinação das mesmas.

A função das ranhuras é muito importante e pode ser resumida no seguinte:

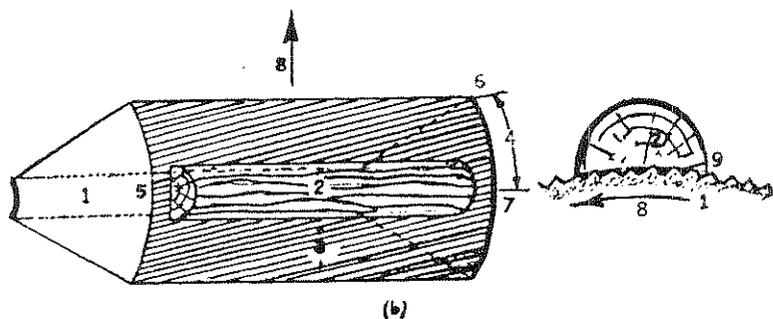


Figura 2-14. Função das Ranhuras

- Diminuem a superfície de contato do rebolo em relação a madeira (com o aumento da quantidade de ranhuras por polegada aumenta a pressão específica do desfibramento), fator este de grande importância para a obtenção de boa qualidade de pasta;
- Introduzem a água para dentro da zona de desfibramento;
- Retiram a pasta produzida para fora da referida zona; alguns autores, no entanto, afirmam que a pasta é levada para fora através da força centrífuga e água, e não das ranhuras.
- Contribuem para refinação da pasta;

A operação de afiação propriamente dita, é fácil porém, exige o máximo cuidado por parte do operador. Uma afiação mal feita pode causar a produção excessiva de rejeito ou, então muitos finos, responsáveis pela baixa qualidade da pasta produzida.

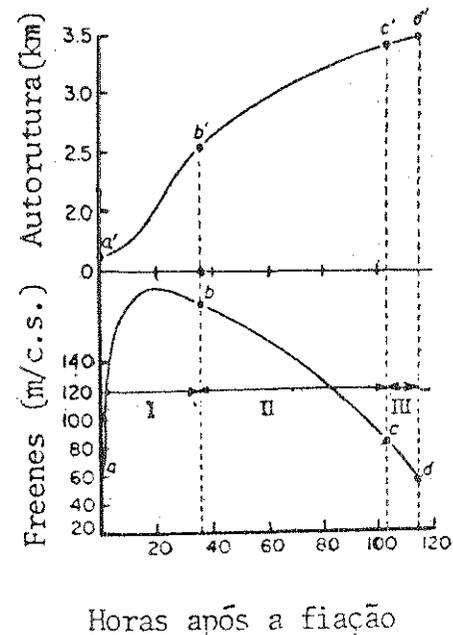


Figura 2-15.

Entre alguns indícios, que servem para se proceder afiação de um determinado rebolo, podem ser citados: tempo de trabalho, grau de refinação da pasta (° SR OU CSF), consumo específico de energia, diminuição da produção. A maior parte das indústrias, guia-se pela determinação de grau de refinação (° SR ou CSF), um teste de execução simples e, principalmente rápido.

Há pesquisadores, no entanto, que atribuem a maior influência na qualidade da pasta à qualidade dos rebolos (sua composição principalmente) e não à carretilha ou maneiras de afiação da mesma.

2.3.4. Outros Equipamentos

2.3.4.1. Depuradores

Para depuração bruta usa-se peneiras vibratórias tipo Johnson com furação de 3 a 5 mm.

A depuração fina é constituída, geralmente por uma bateria de depuradores centrífugos, tipo Cowan ou similares. O aceite é encaminhado para engrossamento, enquanto o rejeito sofre uma refinagem, retornando para a linha de depuração.

A depuração secundária é constituída normalmente por uma bateria de centri-cleaners com aceite dirigido para engrossamento e o rejeito desprezado.

2.3.4.2. Refinadores

De um modo geral são idênticos ao usado na refinagem de celulose.

Convém acrescentar que as partículas de rejeitos das peneiras Johnson são às vezes muito grandes e devem ser encaminhadas inicialmente, para um repicador tipo Hog ou similar para em seguida integrar a produção de cavacos (se for o caso). Quando a fábrica de pasta for isolada, os cavacos deverão ir para um desintegrador.

O desintegrador de rejeito pode ser um refinador cônico de preferência, equipado com facas longas, ou um de disco tipo Pilão DP 900, por exemplo.

2.3.4.3. Engrossadores

Engrossamento, ou aumento de consistência da pasta tem por objetivo reduzir o volume da pasta a ser aplicada e ainda proporcionar uma consistência adequada para o seu alveamento.

Existe uma série de engrossadores gravitacionais e filtros a vácuo de alta velocidade, idênticos àquelas, usados na fabricação da celulose.

2.4. Teoria do desfibramento

Apesar de parecer um processo simples, a teoria do processo de desfibramento é bastante complexa.

Segundo Brecht e Mueller e, mais tarde Brecht Schuster, deve-se levar em consideração, durante o processo de desfibramento duas ações distintas: desintegração da madeira em fibras e a refinagem das mesmas (pelo atrito, quando em passagem através da zona de desfibramento, entre rebolo e a madeira).

Baseado neste princípio, K. Klemm tenta apresentar uma análise mais completa dos fenômenos que ocorrem durante o processo. Segundo o mesmo, o processo deve ser dividido em duas partes:

- Estágio primário
- Estágio secundário

O estágio primário subentende, por sua vez, o pré-inicial e inicial. Durante o estágio pré-inicial ocorre a plastificação da lignina, quando a temperatura alcança 165/180°C. Na segunda fase, durante o estágio inicial, dá-se o desfibramento da madeira, devido à ação abrasiva dos grânulos existentes na superfície do rebolo.

O estágio secundário envolve o esmagamento, ou melhor, a refinagem das fibras ou seus aglomerados - é um processo de re-desfibramento. Não resta dúvida que é muito difícil apresentar provas para a confirmação dessa hipótese, visto ser impossível co -

lher amostras de fibras de cada um dos estágios. Torna-se quase evidente de que não existe a separação entre os mesmos, isto é, deve-se considerar de que ocorrem quase que simultaneamente.

Estágio primário, Pré-inicial

Segundo a hipótese exposta, torna-se evidente a importância da temperatura na zona de desfibramento. Na figura podemos verificar que a temperatura do Grinder pit (faixa d) é muito inferior à da plastificação da lignina (faixa b) e não chega a ultrapassar o ponto de ebulição de água (c).

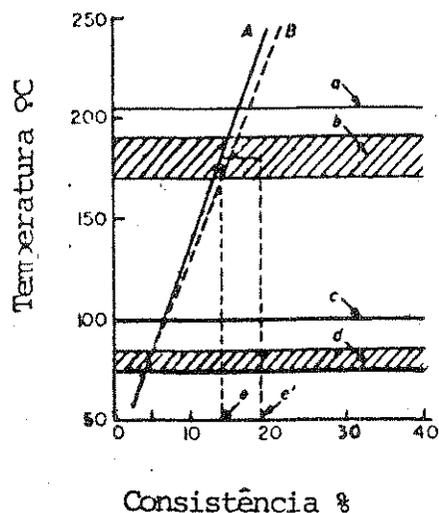


Figura 2-16. Temperatura e Consistência na região do desfibramento. (A) diluição com água e pasta (B) somente com água (a) temperatura queima madeira. (b) faixa plastificação da lignina (c) ponto ebulição de água, (d) temperatura na bacia (e, e') consistência teórica e medida.

As curvas A e B que representam o calor gerado em relação a temperatura e a consistência na zona de desfibramento, indicam que a falta de diluição conveniente conduz o processo para a temperatura superior à da plastificação, ocasionando a combustão da madeira. Segundo K.H. Klemm, para um rebolo de superfície bem áspera (recém afiado) o calor desenvolvido está na ordem de 2.000.000 B. t. u./t.a.s. correspondendo a uma temperatura de 325°F (162°C) isto é, abaixo da faixa de plastificação da lignina. De fato a pasta produzida nestas condições é de qualidade inferior, pouco indicada para o fabrico de papel. Do outro lado, com a pedra bem gasta ou com muitas horas em operação, o calor gerado é de ca. 4.500.000 B. t. u./t.a.s. e corresponde à temperatura de combustão da madeira (200°C) isto nos indica que a diferença entre a temperatura normal de operação e o de combustão é bastante pequena (ponto a e faixa b).

Estágio primário inicial

Conforme já mencionamos, nesta fase da operação é que ocorre o desfibramento propriamente dito. Devemos mencionar aqui três fatores muito importantes para se conduzir uma operação correta:

- 1º - Plasticidade da madeira - condicionada com a umidade (não inferior a 30% e de preferência superior a 40%) e a lignina plastificada durante o estágio pré-inicial;
- 2º - Alimentação do desfibrador - interpretada pela pressão da madeira contra o rebolo. Teoricamente, esta alimentação deve ser tal para

que a penetração do grânulo do rebolo para dentro da madeira, durante a sua trajetória através da zona do desfibramento, não chegue a superar o diâmetro da fibra. Neste caso, teremos ótimas condições para produzir maior percentagem de fibras longas e intactas. Em casos extremos tem-se grande teor de fibras curtas (cortadas e quebradas) ou, então, aglomerados de fibras e palitinhos.

3º - Granulação (da composição do rebolo) - gostaríamos de observar apenas que a granulação do rebolo deve ser de acordo com o diâmetro da fibra: granulação fina-fibras finas e vice-versa.

Estágio secundário

Um tanto complexa, quanto à sua interpretação teórica, esta fase do processo assemelha-se bastante ao da refinagem nos refinadores cônicos ou de disco. O atrito, a superfície do rebolo, como também a consistência na zona de desfibramento são os fatores que devem ser levados em consideração. K.H.Klemm as sinala, por exemplo, a grande importância da afia - ção neste caso. Segundo ele os rebolos recém-afia - dos e com grânulos ásperos não podem proporcionar u ma boa fibrilação das fibras. Surge, inclusive, um método para medição do valor médio da profundida - de dos sulcos. A técnica ideal, do ponto de vista e conômico, seria produzir no estágio primário as fi - bras ou aglomerados das mesmas de modo e percenta - gem adequados, controlando apenas a refinagem do es - tágio secundário. Infelizmente não é possível sepa - rar estágio primário do secundário.

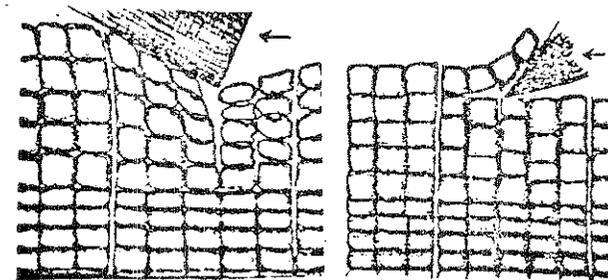


Figura 2-17.

Uma outra idéia, de Atack e May, sobre a teoria do desfibramento pode ser encontrada na obra "Science and Technology of Mecanical Pulp Manufacture". G.Ga velin. Segundo esta teoria quando a superfície do rebolo percorre a da madeira comprimida, ocorre um fenômeno de compressão e relaxamento da mesma, toda vez que um grânulo se desloca (isto em questão de menos de mili-segundo) a distância equivalente ao seu diâmetro. Considerando que o grânulo de um rebolo industrial Norton A601, por exemplo, possui um diâmetro de 0,2 mm, um espaçamento de 0,6 mm e que a velocidade periférica do rebolo seja aproximada - mente 25m/sec., as fibras serão sujeitas a mais de 6000 ciclos de compressão e descompressão por se - gundo. Acontece, porém, que ao par da compressão por um determinado grânulo, as fibras sofrem também um empuxo no sentido da rotação do rebolo, resultando daí um efeito benéfico na separação de fibras.

O processo de desfibramento é completado, da mesma forma como no caso anterior, por uma refinagem de fibras. O mecanismo desta refinagem foi estudado pe - los próprios Atack e May, que atribuem a máxima im - portância, durante esta fase da operação, aos efei

tos de atrito, de rolamento e de escorregamento, estudados num modelo especial, utilizando esfera de aço. Ambos chegam à conclusão de que para uma adequada refinagem, os coeficientes de ambos os atritos devem ser mantidos dentro de determinados limites, específicos para cada tipo de rebolo, madeira, ou mesmo do desfibrador. Para completar estas breves considerações sobre as teorias do desfibramento deve-se mencionar também o chamado "Unravelling Process" (uma teoria sobre o desfibramento das fibras). A teoria publicada pelo conhecido pesquisador no assunto O.L. Forgacs no seu trabalho "Characterization of Mechanical Pulps" foi descoberta durante o exame de fibras da Pasta Mecânica no microscópio eletrónico. Foi observando então, que algumas fibras apresentaram a tendência de "refinagem" partindo-se segundo uma orientação espiral das fibrilas da parede secundária e formando uma espécie de longas e delgadas "serpentinadas" - ribbons.

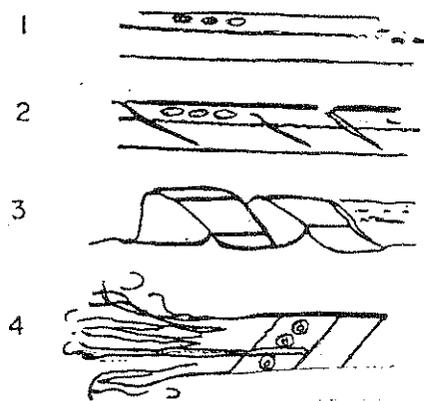


Figura 2-18. Transformação esquemática da fibra (1) através de fissuras (2), em fitas (3) inclusive fibrilhação final (4).

Nestas serpentinadas as fibrilas correm paralelamente ao longo do eixo das mesmas, apresentando as fibras ótimas características da resistência e printabilidade. Não resta dúvida alguma, de que este tipo de fibra é capaz de proporcionar a melhor ligação entre fibras de que as intactas ou fibriladas nos extremos apenas. Resta saber ainda como pode se conseguir, ou melhor, levar ao máximo a produção deste tipo de fibras durante o processo do desfibramento.

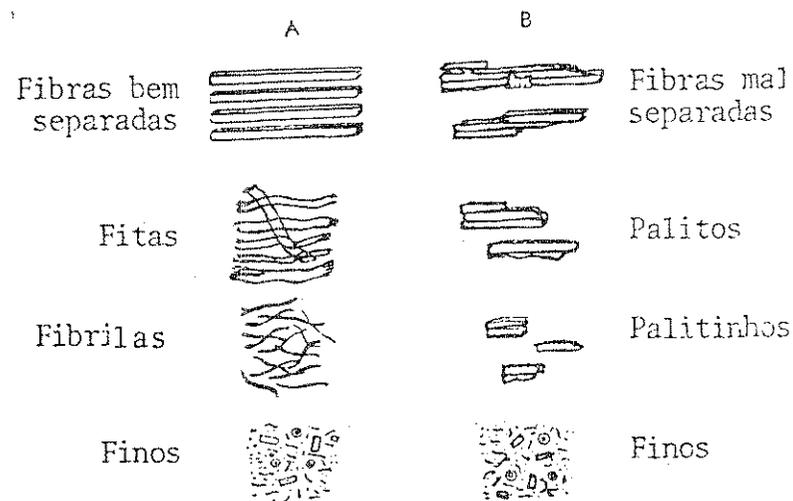


Figura 2-19.

2.5. Tecnologia do Processo

2.5.1. Alimentação

É feita manualmente, mecanicamente ou, então, pelo sistema combinado.

A capacidade de alimentação manual é reduzida para 10-15 t pasta/dia por operador. No caso do sistema semi-automático, a produção chega a 25-30 t/dia (podendo ser maior).

Segundo dados suecos a alimentação importa em 2% sobre o custo da pasta, o que por si já é suficiente para justificar um moderno e automático sistema de alimentação de lasca.

Convém mencionar ainda alguns fatores que, sem dúvida alguma, exercem grande influência sobre a qualidade da pasta durante o processo de desfibramento propriamente dito: chuveiros, temperatura, consistência, velocidade do rebolo, etc.

2.5.2. Chuveiros

Durante o processo de desfibramento, o atrito entre a madeira e o rebolo gera grande quantidade de calor que deve ser retirado por meio de injeção de grandes quantidades de água através de diversos chuveiros.

Uma outra função de chuveiros consiste em manter limpa a superfície de rebolo (as fibras entram no meio de sulcos e se não removidas, podem causar entupimento dos mesmos), como também diluir a pasta produzida e evacua-la para fora do desfibrador. A água desempenha também o papel de lubrificante.

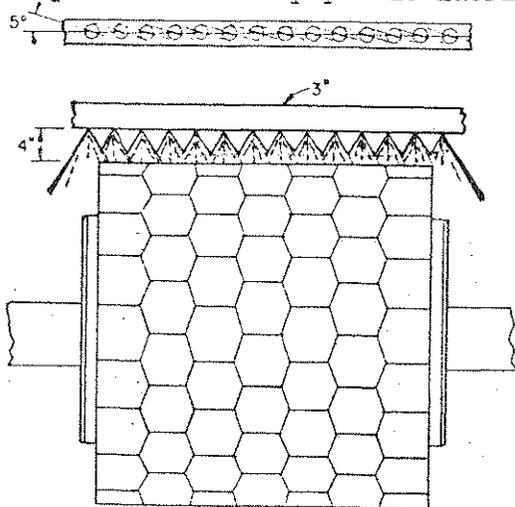


Figura 2-20.

Chuveiros

2.5.3. Temperatura

O desenvolvimento de calor na zona do desfibramento pode atingir até 170°C, ou mais. Esta temperatura é ao mesmo tempo benéfica ao próprio processo, favorecendo a plastificação da lignina. No entanto, se não controlada, pode causar a combustão da madeira.

Nos desfibramentos experimentais, por exemplo, onde a temperatura é baixa, a qualidade da pasta produzida é deficiente. Normalmente deve-se manter a temperatura no poço do desfibrador (bacia-grinder pit), entre 70-80°C.

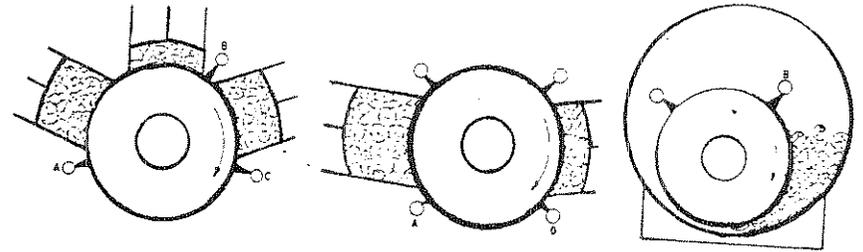


Figura 2-21. Distribuição de chuveiros em alguns tipos de desfibradores; A e B chuveiros reguladores da temperatura; C e D chuveiros para limpar rebolo.

2.5.4. Consistência

Pode variar de 1 a 6%, porém com a nova orientação, na maioria dos casos, a consistência é mantida entre 0,8 e 1,2%.

É conhecida também a influência da mesma sobre a qualidade da pasta produzida. As consistências mais baixas favorecem o processo de refinagem, proporcionando a melhor resistência física, acompanhada de

SR² mais elevado (ou CSF mais baixo).

"Grinder Pit"; poço ou tina do desfibrador serve para coletar a pasta. O nível da pasta dentro do mesmo é um fator importante no desfibramento.

Normalmente este nível, controlado pela comporta da saída, é mantido alto, de modo que o rebolo fica parcialmente submerso. Este fato favorece o resfriamento e limpeza do mesmo e, do outro lado, contribui para a refinagem da pasta (as fibras seguem a pedra, entrando novamente na zona de desfibramento). A tendência de hoje, no entanto, é de baixar o nível de pasta na bacia, aumentar o volume de água nos chuveiros e, aumentar a pressão da madeira contra o rebolo e velocidade do mesmo para conseguir maior produção por unidade. É o chamado "pit-less grinder" - desfibramento sem a tina, melhor sem submersão do rebolo.

2.5.5. Velocidade periférica

Normalmente esta é 18-25 m/s. Há no entanto, opiniões e inclusive diversos trabalhos publicados a favor de maiores velocidades até 40 m/s. Este aumento acompanhado de maiores pressões e volumes de água nos chuveiros, pode proporcionar um considerável aumento da produção por unidade.

2.5.6. Energia

O consumo de energia durante o desfibramento depende de vários fatores, entre os quais, a pressão operacional, condições do rebolo, tipo de afiação e temperatura - são os mais importantes.

O consumo específico de energia aumenta: com pro

gressivo alisamento do rebolo e aumento do grau de refinagem da pasta, fatores estes que contribuem para a queda da produção. Deve-se, portanto, procurar encontrar um ponto médio ótimo de modo que a produção seja alta, consumo de energia baixo e a qualidade de pasta boa, mantida a mais uniforme possível.

Nunca devemos esquecer que a produção da Pasta Mecânica não é apenas uma função da madeira, mas de energia também. Para cada tonelada de Pasta Mecânica com são necessários 1500 à 1800 KWH de energia.

2.5.7. Depuração, refinagem e engrossamento

Não pretendemos retermos nestas operações visto que seus princípios teóricos, equipamentos e operação, são os comuns para uso normal na indústria de celulose e papel em geral.

quanto ao engrossamento gostaríamos de salientar a importância da água branca, oriunda desta operação. Contém considerável quantidade de finos e é utilizada novamente no processo como veículo ou diluente para pasta: chuveiros dos desfibradores, peneiras - Johnson, depuração, etc.

2.5.8. Estocagem da Pasta Mecânica - (PM)

É de grande importância salientar a necessidade de um sistema adequado para estocagem da pasta. Durante as paradas das máquinas de papéis os tanques servem como pulmão, evitando perdas de produção.

Os tanques de armazenamento, situados geralmente em baixo dos engrossadores ou filtros devem ser suficientemente grandes para poder proporcionar uma suficiente capacidade de estoque (especialmente durante

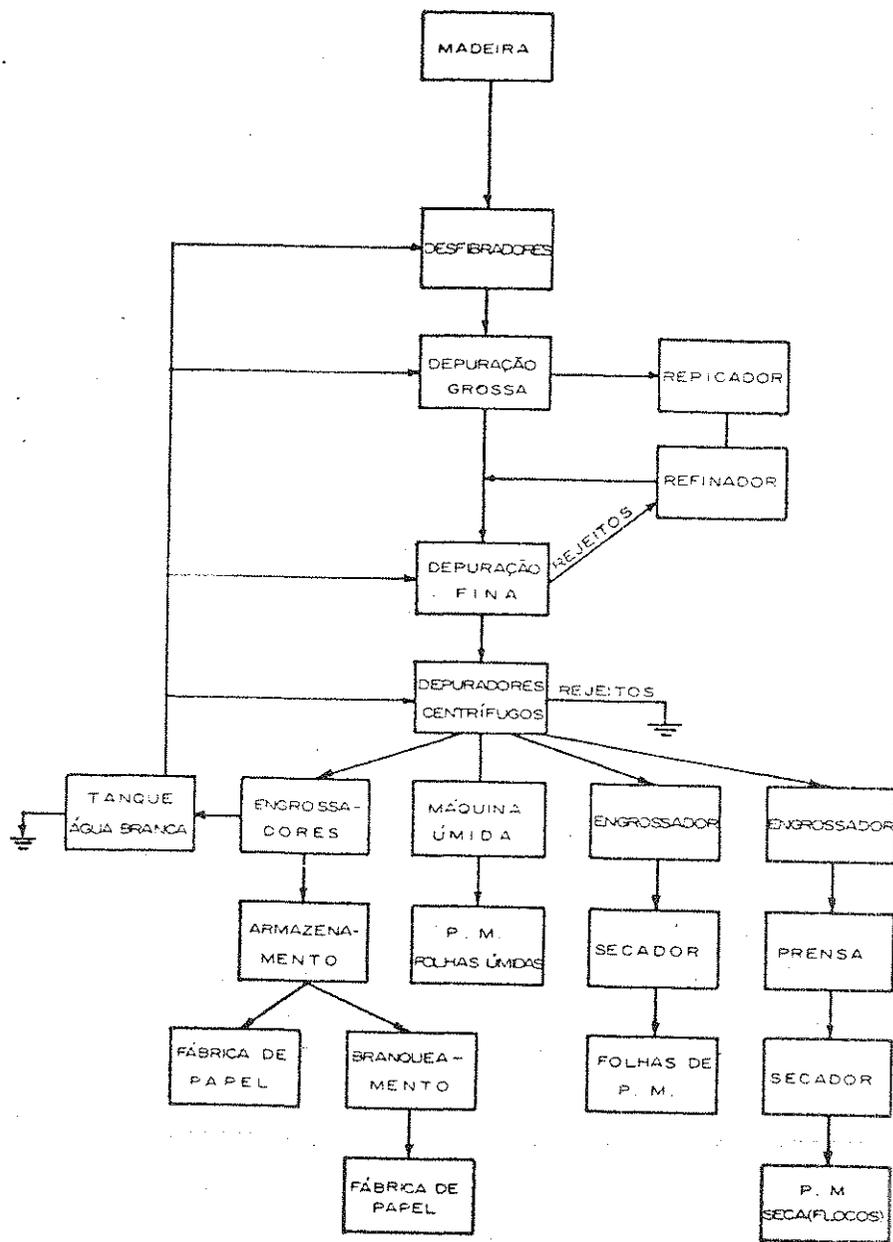


Figura 2-22. Fluxograma de uma fábrica moderna de Pasta Mecânica Convencional.

Quadro 2 - 1 : Características principais de alguns tipos de Desfibradores

Tipo desfibrador	Compr. lascas (m)	Área desfibramento (m ²)	Força instalada (H.P.)	Velocidade periférica (m/s)	Produção diária (t/dia)
Multi-bolsas	0,61	0,92	625	19,20	17
Hidráulico-depósito Standard	1,24	1,64	1750	20,11	24
Super	1,27	2,32	2500	22,86	35
Great-Northern Standard	1,22	2,23	2750	22,86	37
Super	1,62	3,30	5000	24,38	60
De corrente-americanos					
29	1,22	0,90	1800	19,20	24
53	1,22	1,64	1750	22,86	25
58	1,22	1,78	2000	21,64	30
De corrente-Voith					
III	0,99	1,00	1000	19,20	25
V	0,99	1,20	2700	23,16	42
VI	0,99	1,35	3500	23,16	75
De anel (Roberts,Hydra Grinder)					
Mínimo	0,99	1,30	3000	25,90	60
Máximo	2,54	-	8000	25,90	80 ou mais

paradas de máquinas de papel para manutenção). Existem ao contrário, opiniões de alguns autores que conjugam a queda da qualidade da pasta com excessivo tempo de armazenamento.

Os tanques para consistência média (de 4-6%) são providos de agitadores, a fim de assegurar uma boa homogeneização de pasta produzida e, ao mesmo tempo, evitar a formação de zonas paradas - estagnadas, propícias à putrefação e fermentação em geral. Os tanques para consistência mais elevadas, geralmente de forma alta, não possuem agitação e sim uma rosca sem fim e uma série de chuveiros na sua parte inferior, para retirar a pasta das mesmas. Se a pasta produzida não é consumida na própria indústria e deve ser transportada, a técnica é um pouco diferente. O engrossamento é feito em filtros a vácuo até 12%, em seguida uma prensa helicoidal de rosca sem fim até 40-45%. O enfardamento é a fase final da operação. Existem também, para esta finalidade, máquinas formadoras que possuem engrossadores a vácuo, seguindo-se de 2 cilindros - prensas, cortador e enrolador de folhas automáticos. Conteúdo final é cerca de 45-56%.

Para transporte à longas distâncias, ou estocagem mais prolongada, ou em países de clima quente, há necessidade de secar a pasta até 90-92% de conteúdo seco. Esta operação é feita nas máquinas com cilindros aquecidos a vapor. O moderno processo de secagem "flash-drying" consiste na passagem da pasta através de duas torres, nas quais são injetados gases quentes, provenientes de combustor a óleo. Pasta Mecânica entra na primeira torre com 40-45% de

consistência, enfrentando a temperatura inicial de 200°C. A consistência aumenta para 60-70%. Após a segunda torre a pasta fica seca ao ar (-8% de umidade).

2.6. Controle de Qualidade

Todo esforço e orientação na escolha dos métodos de controle devem ser feitos no sentido de proporcionar uma produção da Pasta Mecânica de qualidade aceitável pelas máquinas de papel, mais uniforme e decus to mais baixo possível. Neste sentido é que deve ser organizado o sistema de controle no laboratório. O que é necessário saber sobre as qualidades de uma Pasta Mecânica pode ser resumida em poucos itens:

- a) Grau de refinagem (BR^o ou CSF^o);
- b) Resistência física (seca e/ou úmida);
- c) Filtrabilidade;
- d) Comprimento de fibras e distribuição das mesmas;
- e) Alvura e impurezas.

Visto que a Pasta Mecânica é constituída de uma mistura de fibras longas, curtas, finos, aglomerados de fibras, etc., todas elas provenientes de vários desfibradores diferentemente, deve-se escolher cuidadosamente o tipo e qualidade (frequência) de testes a serem executados pelo pessoal de controle. Apesar de parecer isto tão claro, não existe uma opinião uniforme a respeito e cada indústria, praticamente, aplica os testes e sistema de controle de melhor conveniência, de menos custo, adaptados às suas condições locais-específicas. Segundo a prática e

de acordo com várias citações da literatura profissional sobre o assunto, os testes de maior aplicação seriam os seguintes:

- a) SR^o ou CSF^o;
- b) Resistência à tração (seca e/ou úmida);
- c) Classificação de fibras;
- d) Controle de alvura.

Infelizmente, todos estes testes nem sempre são suficientes para avaliar devidamente a qualidade da pasta produzida, especialmente o que diz respeito, ao seu comportamento nas máquinas, como componente principal do papel imprensa. O mais difícil, neste caso, seria a maneira de interpretá-los devidamente, justificando e prevendo em tempo, o comportamento da pasta nas máquinas e o bom desempenho das mesmas. Existe uma corrente de substituir estes tradicionais testes de laboratório por outros, mais representativos e eficientes. Convém citar aqui o interessante trabalho de O.L. Forgacs, segundo o qual existem dois fatores L e S (Length e Shape Factor) capazes de representar melhor a qualidade e, sobretudo, prever comportamento da pasta nas máquinas durante a fabricação de papel para imprimir, papelões, cartolinas, etc.

Vários pesquisadores estão tentando introduzir estes novos testes, porque a idéia, sem dúvida alguma, é prometedora, faltando ainda muito trabalho e pesquisas para coroa-la de êxito.

Quanto a maiores detalhes sobre este assunto, como também a descrição mais detalhada de métodos tradi-

cionais de controle, não comportaria esta aula e tempo para fazê-los.

3. PASTA MECÂNICA DE REFINADOR

3.1. Introdução

A idéia de se produzir pasta mecânica em refinadores não é nova. Desde 1.920, quando os rejeitos da fabricação da pasta mecânica convencional passaram a ser reduzidos a pasta por ação de refinadores de disco, é que se pensava em adotar esta tecnologia. Este fato era vantajoso, pois permitiria a obtenção de pasta mecânica a partir de cavacos convencionais ou de resíduos de madeira que não eram utilizados para fabricação de celulose.

Embora a idéia do processo seja antiga, a adoção da indústria por ele é recente, e isso aconteceu surpreendentemente rápido.

As experiências em escala piloto iniciaram-se por volta de 1954-55 e a primeira fábrica entrou em operações em 1958.

Existem boas razões para que este processo tenha tido uma aceitação tão rápida pelos fabricantes de pasta mecânica:

- a) A possibilidade do uso de resíduos de madeira. Qualquer madeira que anteriormente era destinada apenas à fabricação de celulose química ou semi-química passou a se constituir em matéria-prima para pasta mecânica. Mesmos os resíduos de serraria fornecem pasta mecânica de qualidade aceitável pelo uso dos refinadores.

- b) As madeiras tortas ou defeituosas que não podem ser usadas nos desfibradores convencionais, podem ser transformadas, em cavacos e a seguir em pasta mecânica.
- c) A mão-de-obra nas instalações com refinadores é menor que nas com desfibradores de rebolo.
- d) O manuseio dos cavacos é muito mais simples que o manuseio de toras.
- e) A pasta mecânica de refinador é um produto bem mais resistente que a pasta mecânica tradicional.
- f) O controle de qualidade e uniformidade da pasta é mais simples e mais positivo nos refinadores do que nos desfibradores.
- g) O grau de refino nos refinadores pode ser melhor controlado do que nos desfibradores.
- h) Alvura e opacidade das pastas feitas nos refinadores são as mesmas que as preparadas nos desfibradores.
- i) A unidade industrial é mais compacta, necessitando menor espaço que as fábricas com desfibradores.
- j) O sistema é flexível. Por exemplo, pode-se mudar a madeira de conífera para folhosa sem ter que se alterar o sistema; pode-se também produzir pasta totalmente mecânica e pasta mecano-química com a mesma instalação.
- 1) Existe a possibilidade de se adicionar pequenas quantidades de agentes químicos para produção de

uma pasta mecânica com resistência comparável às pastas sulfito e bissulfito.

Estas vantagens conduzem a outras vantagens adicionais na fabricação de papel jornal:

- a) As máquinas podem ter suas velocidades aumentadas pois a pasta é mais resistente. Isso conduz a um aumento de produção por máquina.
- b) É possível se diminuir a quantidade de celulose química adicionada no estoque. Desde que se diminua a quantidade de celulose química, o papel jornal será mais volumoso e opaco. Estas características são altamente desejáveis pois permitem a redução na gramatura do mesmo.

Paralelamente a estas inúmeras vantagens, existem desvantagens como:

- a) O consumo de energia é maior para a pasta mecânica de refinador (60-120 HPD/t para a de refinador contra 40-90 HPD/t. para a de rebolo). Isso é verdadeiro até certo ponto, pois a melhoria das técnicas, do modelo dos discos e o uso de pré-tratamentos para amolecer os cavacos, têm permitido economias crescentes no consumo de energia. Levando-se em conta que a qualidade da pasta é melhor, esta desvantagem não é significativa.
- b) O custo de manutenção dos refinadores de disco é maior que o de manutenção dos rebolos.

3.2. Matérias Primas

A grande vantagem deste processo é a possibilidade

de se produzir pasta mecânica de aceitável qualidade a partir de praticamente qualquer tipo de madeira de conífera ou folhosa.

Como o mundo está enfrentando uma escassez cada vez maior de madeira, podemos nos beneficiar deste processo pois ele permite o uso de materiais que até recentemente não tinham valor na fabricação de pastas tradicionais, como: ramos, ponteiros, lascas tortuosas, costaneiras, serragem e outros tipos de resíduos lenhosos de indústrias de conversão de madeira.

Inúmeras espécies que antes não poderiam ser usadas na fabricação de pasta mecânica convencional, passaram a ser utilizadas com sucesso. Isto se deve também a possibilidade de se associar um pré-tratamento dos cavacos para amolecimento, remoção de resinas, etc. Este tratamento pode ser com água quente e/ou produtos químicos diversos. O pré-tratamento permite muitas vezes a recuperação de valiosos sub-produtos como resinas, taninos, etc. Por outro lado, o pré-tratamento permite um abaixamento da energia/tonelada necessária para se produzir a pasta mecânica de refinador.

3.3. Princípios teóricos

Os primeiros estudos básicos sobre como se processa a separação das fibras por ação do refinador foram realizados por Atack e May, 1962.

Estes estudos mostraram que o desfibramento ocorre devido a sucessivas deformações visco-elásticas da madeira por compressão/descompressão da mesma entre as barras dos discos em rotação. A temperatura na

zona de refinação atinge de 120 a 135°C.

Forgacs, 1963, observou que por este processo a parede das fibras era "descascada" na forma de fitas (serpentinadas) e estas fitas eram retiradas no sentido das microfibrilas das várias camadas da parede celular. Esta liberação de estruturas com a forma de fitas explica a qualidade superior deste tipo de pasta.

3.4. Tecnologia do Processo

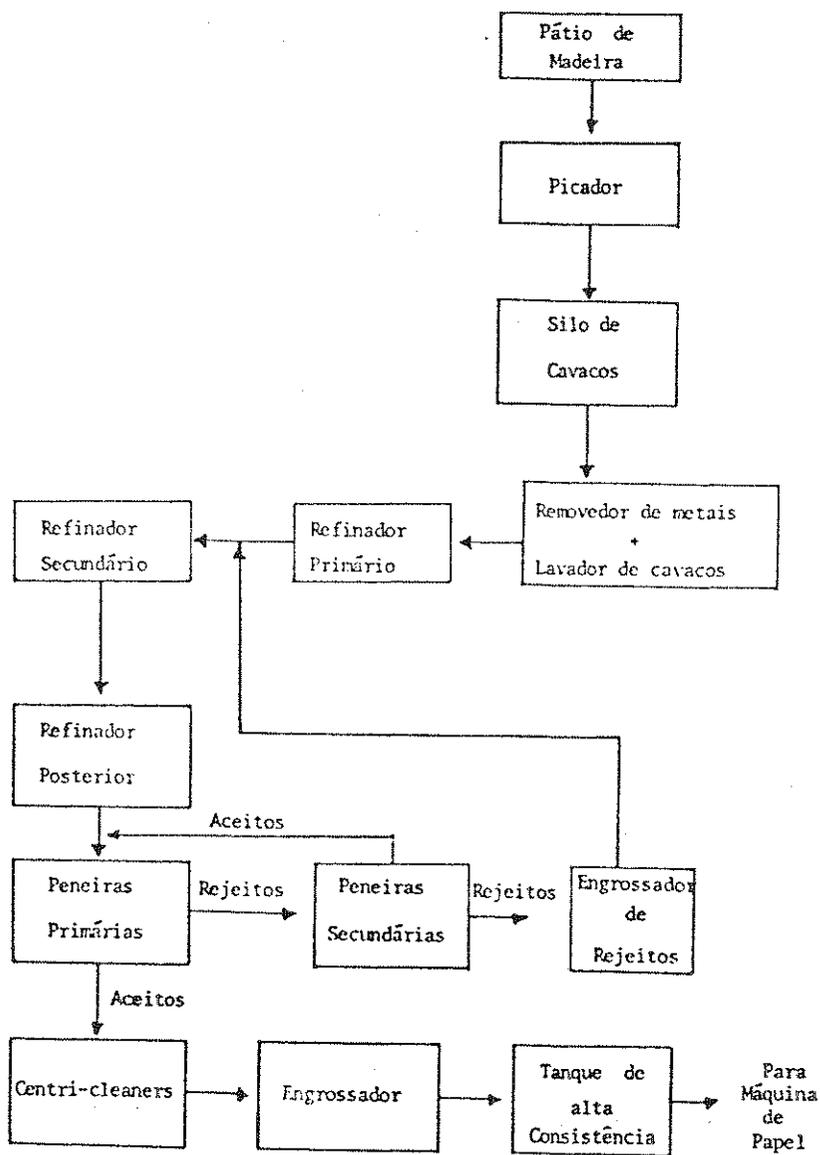
Em 1958 foi instalada a primeira unidade comercial de pasta mecânica de refinador pela Crown Zellerbach Corporation. O equipamento e tecnologia foram fornecidos pela então Bauer Co. Hoje existem inúmeras instalações pelo mundo utilizando o processo, sendo que as duas principais companhias que fornecem tecnologia são a C.E. Bauer e a Asplund Defibrator.

Os sistemas adotados atualmente são simples e consistem basicamente de: picagem, refinação, depuração e limpeza. Quando qualidade superior é desejada ou quando a qualidade da matéria-prima fibrosa é inferior, utiliza-se a adição de produtos químicos em pré-tratamento.

Um fluxograma simplificado da atual tecnologia é o apresentado na figura a seguir.

Existem alguns itens no fluxograma que necessitam explicações.

O manuseio de madeira e a sua transformação em cavacos são os convencionais. A madeira deve ser descascada. Os cavacos precisam ser lavados antes de



FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA PRODUÇÃO DE PASTA MECÂNICA DE REFINADOR

serem refinados para eliminar impurezas.

Os refinadores primários são geralmente de discos-duplos (Bauer) ou simples (Defibrator). A consistência de trabalho é de 15 a 25%. Água quente é usada para controlar a consistência. Entre 50 a 75% da energia total necessária é aplicada nesta fase.

Os refinadores secundários trabalham no sentido de desintegrar rejeitos e para regular a qualidade e o grau de refino.

A consistência de trabalho é de 8 a 25%. Em geral, estes refinadores são também de discos duplos ou simples.

O refinador posterior tem sido mais recentemente usado para se adicionar agentes alvejantes e para uniformizar a qualidade do produto.

A depuração é feita pela associação de peneiras vibratórias ou rotativas, e "centri-cleaners". Em grossadores são utilizados para trazer as consistências a níveis mais altos quando necessárias.

3.5. Equipamentos

Os mais importantes equipamentos são os refinadores de discos que podem ser de um ou dois discos rotativos.

O equipamento mínimo necessário para se produzir pasta mecânica de refinador é:

- dois estágios de refinadores de discos (1000 a 6000 HP de potência e 1500 a 1800 rpm).
- peneiras vibratórias ou rotativas
- "centri-cleaners".

3.6. Pasta mecano-química de refinador

O processo de se amolecer o cavaco antes de refinar para melhorar a eficiência do refino e a qualidade do produto e se reduzir o consumo de energia, é particularmente aplicável a madeiras de folhosas.

As características físico-mecânicas e óticas destas pastas variam bastante, dependendo sobretudo das espécies utilizadas.

Os produtos químicos utilizados são a soda cáustica a frio (1,5 a 4% de NaOH base madeira seca) e o sulfito de sódio a quente (130°C, 1 a 6% de Na₂SO₃ base madeira seca).

Outros produtos químicos que também podem ser usados são NaHSO₃ e Na₂CO₃.

Quando se usa soda a frio, a qualidade da pasta é excelente quanto a resistência, o rendimento é alto (aproximadamente 92%), porém a alvura é baixa (32 a 48° GE). Com raras exceções, elas podem ser alvejadas em um único estágio para produção de papel jornal (55-60°GE) ou para papel de livros (65-70°GE).

O pré-tratamento com Na₂SO₃ resulta em rendimentos de 88 a 92%, com alvura entre 45 a 65°GE e com boa resistência. O alvejamento é fácil, aumentando-se de 5 a 10°GE com um simples tratamento com hidrossulfito.

O consumo de energia é similar tanto para o tratamento com soda cáustica ou sulfito de sódio, e variável entre 35 a 50 HPD/t.

3.7. Qualidade e usos do produto final

A pasta mecânica de refinador, por ser de qualidade superior à convencional, é destinada principalmente a papel jornal e papel para livros.

A qualidade desta pasta é bem diferente daquela obtida pelo rebolo. As resistências ao estouro e rasgo são superiores e a folha é menos densa a um mesmo grau de refino. Ela tem boas características para impressão e a formação é satisfatória.

Um problema que esta pasta apresenta é um fenômeno conhecido por latência. É a tendência que a fibra tem de se enrolar quando seca antes de ser transformada em papel.

O fenômeno é reversível pois a fibra se desenrola, quando batida em baixa consistência, a 65°C, durante 15 minutos. Esta operação é simples de ser realizada no laboratório, em pequena escala, mas de difícil execução em escala industrial.

4. PASTA TERMO-MECÂNICA

4.1. Introdução

Também é antiga a idéia de se refinar cavacos sob pressão. O processo Defibrator, desenvolvido em 1931 sugeria o refino de cavacos pressurizados e com vapor a 170°C, usando baixa quantidade de energia mecânica (menos de 10 HPD/t). A fibra resultante era escura e relativamente grosseira, em comparação com as obtidas por outros processos. A pasta era utilizada em vários tipos de chapas de madeira e não se cogitou de seu uso para papel, devido à sua cor escura.

Até 1960, o processo só existiu para fabricação de polpa para chapas de madeira. No início da década de 1960, passou-se a estudar a possibilidade de usar o processo para pasta de papel. Em 1968, durante a Sexta Conferência Internacional de Pasta Mecânica, realizada em Atlanta, USA, Logan e colaboradores apresentaram os primeiros resultados sobre o uso de pasta termo-mecânica para papel.

O processo rapidamente ganhou aceitação e em 1975 existiam já instaladas algumas dezenas de fábricas pelo mundo, com capacidade instalada superior a dois milhões de toneladas/ano.

Como o processo é recente, são poucas as informações encontradas e persistem muitas indagações sobre as condições de otimização do processo e do produto final. Entretanto, frente às inúmeras vantagens que o produto oferece, é aceitável a idéia de se prever um grande sucesso para a pasta termo-mecânica.

As três principais companhias que oferecem tecnologia em fabricação de pasta termo-mecânica são: Asplund Defibrator, C.E. Bauer e Sprout Waldron.

Os dados existentes sobre pasta termo-mecânica são bastante encorajadores. Dentre as vantagens mais evidentes que o processo oferece, merecem destaque:

a) A produção de uma pasta de qualidade a partir de madeira de coníferas, permite uma considerável redução no teor de celulose química na fabricação de papel jornal. Há possibilidades de se usar apenas pasta termo-mecânica na fabricação de

papel jornal.

b) O processo permite a utilização de resíduos de madeira como serragens, lascas, etc. É um processo que não é dependente da qualidade da madeira sendo, aliás, bastante flexível quanto ao tipo e espécie. É recomendável para madeiras de coníferas e de folhosas de baixa a média densidade.

4.2. Matérias-primas

Conforme ressaltado anteriormente, o processo é pouco exigente quanto à qualidade da madeira, utilizando madeiras que até há pouco eram rejeitadas pela indústria de celulose. Possibilita ainda o uso de misturas de diferentes tipos de madeira.

4.3. Princípios Teóricos

Logan e colaboradores, em 1968, investigando a possível utilização da pasta termo-mecânica que era usada na fabricação de chapas de madeira, mostraram que se a temperatura da pasta que saía do refinador fosse reduzida rapidamente, a alvura se manteria a um nível possível de ser branqueada economicamente para produção de pasta para papel.

Outros trabalhos que se seguiram, Koran, 1968, 1970 e Atack, 1970, mostraram que a maneira de separação das fibras depende sobretudo do sistema temperatura ou pressão e do tempo de vaporização antes do refino.

Quando o refino ocorre acima de 140°C, a lignina está passando por um estágio de amolecimento térmico que é conhecido por transição vítrea. As fibras são liberadas intactas e cobertas com lignina amolecida.

da.

Ao se resfriar, a lignina se reverte ao estágio vítreo e torna-se um obstáculo ao desfibramento subsequente das fibras separadas. A separação se dá na lamela média.

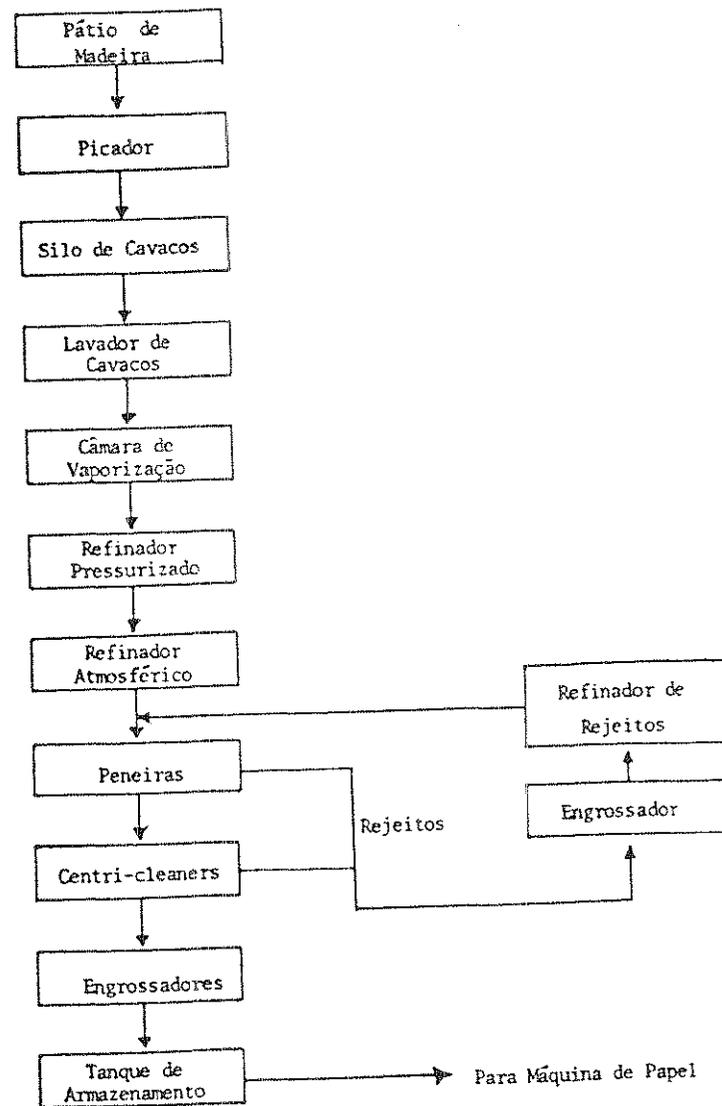
Por outro lado, a 120-130°C, as fibras são também separadas, porque a lignina também amolece, embora não atinja o estágio vítreo. A fratura, neste caso, ocorre preferencialmente na própria parede celular e as fibras se tornam facilmente desfibriláveis. Alguns autores sugerem como temperatura limite a de 130°C.

4.4. Tecnologia do Processo

Um fluxograma simplificado do processo é apresentado a seguir.

A matéria-prima que pode ser cavacos, serragem ou mistura de ambos, é lavada para remoção de impurezas, areia, etc. A seguir, ela é encaminhada para a câmara de vaporização, que pode ser um tubo horizontal alimentado por uma válvula rotatória, ou um tubo vertical alimentado por uma rosca sem fim. O tempo de vaporização é de 90 a 180 segundos. A seguir, o material é encaminhado ao refinador pressurizado, que opera à mesma pressão da câmara de vaporização. A consistência de refino é de 25-30% e a energia necessária depende do tipo de madeira que está sendo usada.

Parece haver um consumo de energia ótimo para cada tipo de material (cavaco, serragem) e para cada espécie de madeira.



FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO TERMO-MECÂNICO

O material relativamente fino, uniforme e volumoso recebe água num ciclone para resfriar as fibras quentes e reduzir a consistência para 20-25% para o segundo estágio de refinação, que é feito à pressão atmosférica. A energia aplicada neste segundo estágio, depende do tipo e espécie do material em uso e do tipo de papel que se deseja produzir. Em geral, a energia total é igualmente dividida entre os dois refinadores.

O material que deixa o segundo refinador é fino, uniforme, limpo e com baixo teor de feixes. Este material é enviado para depuração e em geral se obtém 5 a 15% de rejeitos.

Os aceites das peneiras são enviados aos centri-cleaners e daí ao tanque de armazenamento e máquina de papel.

Os rejeitos são novamente refinados e retornam ao processo.

O consumo total de energia é de 60 a 120 HPD/t.

4.5. Equipamentos

Os equipamentos para fabricação de pasta termo-mecânica são bastante simples e a unidade de produção de pasta termo-mecânica é compacta.

Os equipamentos mínimos necessários para produção de pasta termo-mecânica são:

- refinador pressurizado (discos simples ou duplos com 2000 a 16000 HP e rotações de 1500 a 1800 rpm).
- refinador atmosférico (discos simples ou duplos)

- "centri-cleaners"

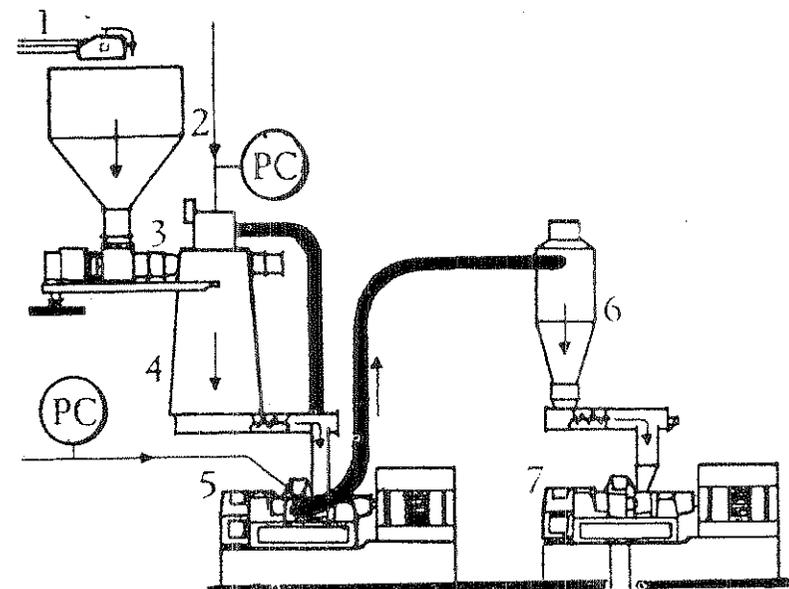


Figura 4.1. Processo termo-mecânico Asplund

- 1- Cavacos do Lavador
- 2- Silo
- 3- Rosca de alimentação
- 4- Pré-aquecedor
- 5- Refinador pressurizado
- 6- Ciclone de pasta
- 7- Refinador atmosférico

Como o tempo de vaporização é inversamente proporcional ao teor de rejeitos, quando se aplica um tempo maior de dois minutos na vaporização, obtém-se praticamente pasta sem rejeitos.

Por outro lado, a pasta termo-mecânica tem um teor de feixes muito baixo.

Assim, tem-se recomendado instalar os "centri-cleaners" apenas na fábrica de papel, sendo dispensável o uso dos mesmos na fábrica de pasta termo-mecânica.

A principal diferença entre os equipamentos C. E. Bauer e Asplund Defibrator é que os refinadores Bauer são de discos duplos e os Asplund de um único disco rotativo.

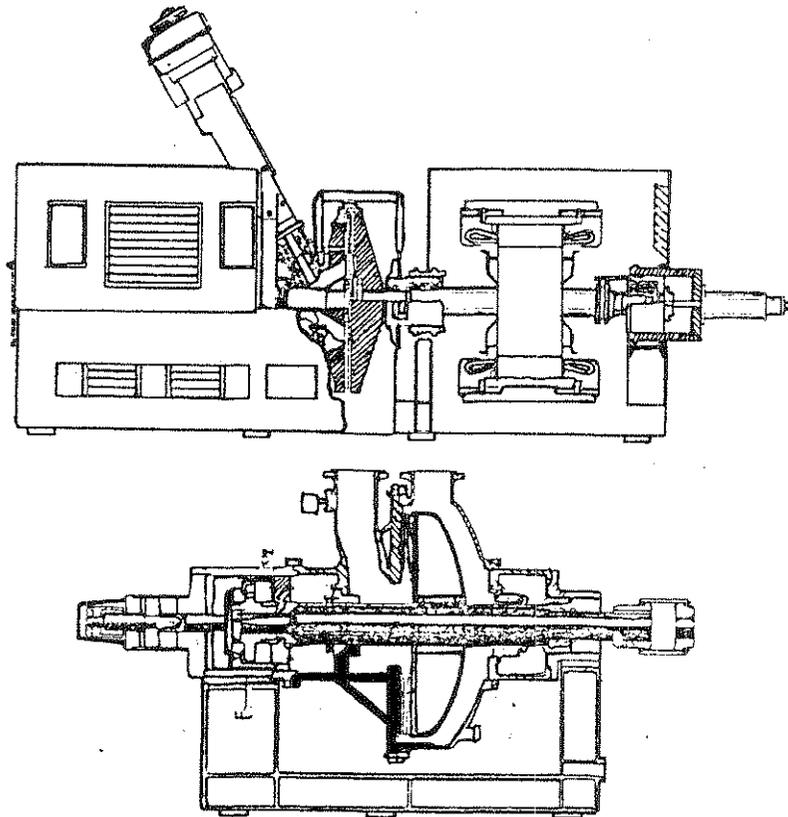


Figura 4-2. Refinadores de discos simples e duplos

4.6. Qualidades e usos

Tendo em vista a excelente qualidade da pasta termo mecânica em termos de limpeza e resistência, ela é particularmente recomendada para utilizações mais nobres como papel jornal, livros, papel "tissue" e papelões.

A pasta termo-mecânica possui menor teor de feixes; possui boa capacidade de ligação entre fibras; é mais resistente que a pasta mecânica convencional e que a pasta mecânica de refinador; possui maior densidade e tem boas características de impressão. É suficientemente forte para aguentar altas velocidades das prensas impressoras, tem boas características para impressão e pode ser transformada em papel jornal de gramaturas mais baixas.

Por outro lado, o processo termo-mecânico dá uma pasta com alvura ligeiramente inferior às pastas mecânica convencional e de refinador. Isso entretanto não é um problema sério, porque uma pequena quantidade a mais de agentes alvejantes como hidrossulfatos ou peróxidos trazem a alvura a níveis comparáveis. Outra forma de se corrigir esta menor alvura, é se adicionar uma pequena quantidade de Na_2SO_3 , só zinho ou juntamente com NaHSO_3 , diretamente na câmara de vaporização ou no refinador pressurizado.

5. ALVEJAMENTO DE PASTAS MECÂNICAS

5.1. Introdução

Do ponto de vista químico, a madeira utilizada para fabricação de Pastas Mecânicas é, constituída de substâncias bastante complexas. Ao lado de compostos de

peso molecular mais baixo e de pequena fração inorgânica, seus componentes principais são os polímeros de carboidratos e fenólicos.

Enquanto os carboidratos constituem as celuloses, o composto fenólico, denominado lignina, é responsável pela coloração dos produtos resultantes (pastas) da madeira.

Esta coloração de lignina deve-se à existência de certos grupos, chamados cromóforos, ligados à sua complexa fórmula molecular.

A alvura das pastas, que é uma das principais propriedades reclamadas, é diretamente proporcional à percentagem de lignina.

Devido a seus altos rendimentos, considera-se que as pastas contêm a lignina em proporções iguais às de madeira, visto que o processo de delignificação ocorre apenas na presença de agentes delignificantes (NaOH, Na₂S, NaHSO₃, HNO₃ e outros) e em temperaturas superiores a 100°C. O que se pretende, então, durante o processo de alveamento, é modificar o caráter de grupos cromóforos de lignina, na superfície da fibra. Pela razão exposta, é fácil de se explicar a reversão de alvura de pastas, quando expostas à luz solar ou estocagem prolongada, pela modificação destes grupos que se tornam novamente coloridos.

O alveamento de pastas depende de certos fatores, tais como qualidade de madeira, contaminação com casca, temperatura de pré-aquecimento, comprimento de fibras e propriedades óticas.

Levando-se em consideração o fato de que há uma diferença entre PM, PMR e PTM no que diz respeito a certas propriedades (comprimento de fibras e óticas) os processos de alveamento devem ser bem selecionados.

Assim, por exemplo, o alveamento da PTM com hidrossulfitos é mais difícil do que o de PM e PMR. No caso de peróxidos, parece que os valores em alvura atingidos são próximos.

É conhecido o fato de que, devido à impregnação de cavacos com vapor, a alvura da PTM é inferior em relação à da PM.

Também é conhecido o fato de que os finos da PM contribuem para melhor alvura inicial e que a percentagem de finos na PTM é inferior à PM.

A PTM é mais resistente que PM, devido ao melhor "Fiber bonding", sendo este responsável pela mais baixa dispersão da luz ("Light Scattering").

Generalizando, pode-se afirmar que o melhor "Fiber Bonding" e a mais baixa percentagem de finos contribuem para mais baixa dispersão da luz, que é quase uma função linear de alvura.

Os peróxidos e hidrossulfitos são os agentes alvejantes mais usados na atualidade.

A indústria papelreira conhece ainda outros produtos químicos com propriedades alvejantes, os quais, no entanto, ou não satisfazem objetivos pretendidos, ou são comercialmente inviáveis.

Pode-se citar entre os outros;

a) Hipocloritos: São os mais antigos alvejantes usa

dos nas indústrias de celulose e o principal reagente no sistema clássico de alveijamento C-E-H.

Cloro ativo ataca a lignina residual da celulose, formando um composto amarelado, solúvel em álcalis.

No caso de pasta de alto rendimento, onde a lignina continua praticamente intacta, esta coloração amarelada do produto final não conseguiu superar as exigências do mercado.

b) Borohidretos: Sal de sódio, o mais conhecido na indústria de papel, é considerado como forte agente redutor e frequentemente utilizado em laboratório como um efetivo alvejante para pastas e celuloses alcalinas de alto rendimento. Seu uso industrial, devido ao alto custo, tornou-se anti-econômico.

c) Sulfitos: O uso destes reagentes redutores é conhecido há muito tempo, porém, o efeito em alveijamento é muito baixo. Sulfitos, na ordem de 1 a 2%, podem ser adicionados aos chuveiros dos desfibradores, proporcionando uma melhora em 2-3°GE, bem como uma considerável economia em energia (segundo Cochrane, de 6 a 8%).

Sulfitos-bissulfitos podem ser aplicados ainda na pré-impregnação da PMR ou PTM, ou aplicados diretamente na máquina formadora.

Além de baixa eficiência, proporcionam uma ação alvejante muito lenta e de caráter não permanente.

d) Ácido Peracético: É conhecido o seu efeito alvejante sobre a pasta e celuloses em experiências de laboratório. A baixa eficiência e alto custo tornam o seu uso comercial proibitivo.

5.2. Alveijamento com Hidrossulfitos

O uso de hidrossulfitos, como agentes alvejantes na indústria de papel, foi conhecido desde 1928. O uso limitado dos mesmos nos E.E.U.U. deu-se a partir de 1940. No entanto, apenas a partir de 1954, é que seu uso encontrou uma aplicação comercial em maior escala no alveijamento de PM, PMR, bem como agente descolorante no aproveitamento de fibras secundárias (papas).

Hidrossulfito aparece no mercado como sal de Na ou Zn (pureza de 94% e 85%, respectivamente), na forma de um pó fino e cristalizado.

A eficiência de alveijamento depende de vários fatores, entre os quais a qualidade de madeira, pré-tratamentos, temperatura, pH e consistência, são os mais importantes.

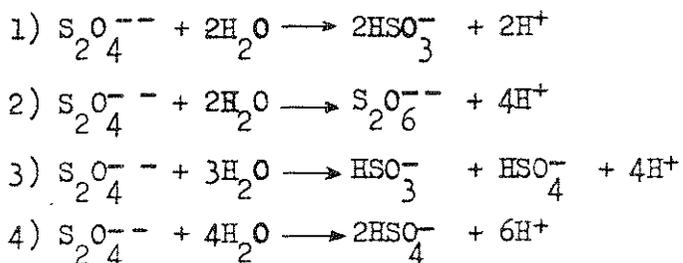
Verificou-se que sua ação alvejante é melhorada, quando na presença de tri e polifosfatos ou EDTA, considerados como agentes sequestrantes de íons de metais pesados, ferro e cobre, principalmente.

Em determinadas condições, pode-se conseguir de até 10-11°GE, o que nem sempre é suficiente, especialmente quando pastas utilizadas têm sofrido uma vaporização ou pré-tratamento químico.

Considera-se que o componente ativo é o radical $S_2O_4^{2-}$, porém sua ação redutora sobre a lignina é ainda pouco estudada.

Dependendo das condições, as reações químicas, durante alveijamentos, podem ocorrer de várias maneiras.

Assim, na presença do material redutível, podemos ter:

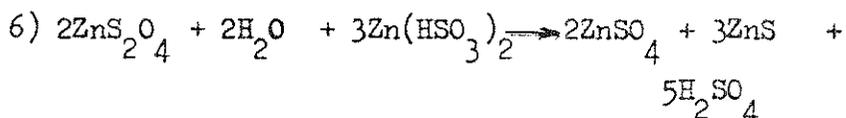


Na ausência de material redutível:



Segundo experiências colhidas, deve-se procurar favorecer as reações 1) e 2), evitando a todo custo a reação 5).

As reações 3) e 4), apesar de fornecerem 4 a 6 átomos de H, são acompanhadas de produtos secundários, que, devido ao seu caráter ácido, causam abaixamento do pH, descontrolam as condições ótimas, causando inclusive, a decomposição de hidrossulfito, segundo a equação:



Como exemplo de condições ótimas para este tipo de alvejamento, poderíamos citar a recomendação dos próprios fabricantes:

Hidrossulfitos : 0,5 - 1,5% pasta a.s.
 Temperatura : 50-60°C.
 Tempo : ca. de 60 min.

Consistência: ca. de 4,0%.

pH : 5,5, - 6,0

São recomendados também outros aditivos, como por exemplo, EDTA-Na, fosfato tri-sódico e muitos outros que desempenham o papel de complexantes e estabilizadores de alvura. Muitas indústrias dispensam, frequentemente, estes agentes complexantes, devido ao seu elevado custo.

Segundo D.R. Sparrow, Tappi, 39(7); 486-489 (1959), a tabela a seguir dá-nos uma idéia quanto à eficiência de sequestrantes.

A D I T I V O S	°GE ganhos
Nenhum	7,7
1,0% fosfato mono-sódico	8,4
idem + pH tamponado a 6,0	8,3
0,5% tetra-polifosfato	10,7
0,5% tri-polifosfato	10,5
0,5% pirofosfato	10,7
0,5% EDTA	11,3
12 ppm íon ferroso	6,1
12 ppm íon ferroso + 0,5% tri-polifosfato	10,3
12 ppm íon cuproso	4,2
12 ppm íon cuproso + 0,5% tri-polifosfato	9,1

(* após 10 minutos de retenção)

O mecanismo da reação de alvejamento, propriamente dito, deve ocorrer segundo reação proposta pelo Freudenberg:

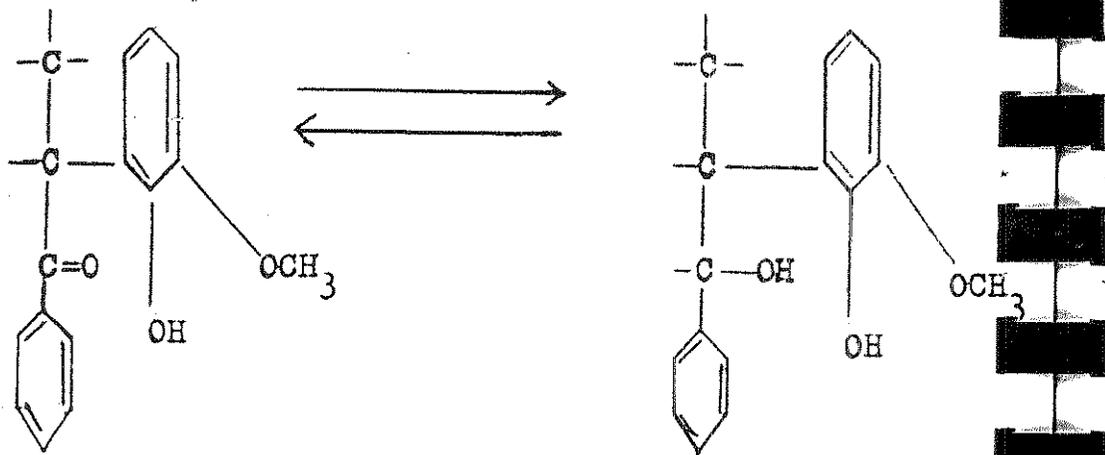


Figura 5-1: Reação de descoloração da lignina

É bem provável que existam ambas as formas, conforme sugerido acima. A lignina, no entanto, continua insolúvel, unida ao núcleo polissacarídeo. Conforme já mencionado, a reação da função quetônica para álcool secundário deve ter ocorrido no grupo cromóforo, alterando apenas a sua coloração.

a) Efeito de Hidrossulfito

Hidrossulfito de zinco, devido à fabricação mais fácil, é o sal de uso mais comum. No entanto, suas águas residuais são mais corrosivas em relação ao sal de sódio.

Também são mais poluentes para rios e lagos, especialmente para fauna pluvial.

O melhor efeito conseguido está ao redor do 0,5%, havendo, às vezes, a necessidade de aplicação de percentagens maiores. Todavia, aplicação acima de 1% não tem o efeito proporcional esperado. A figura 5-2 dá-nos uma idéia quanto à eficiência de percentagem aplicada.

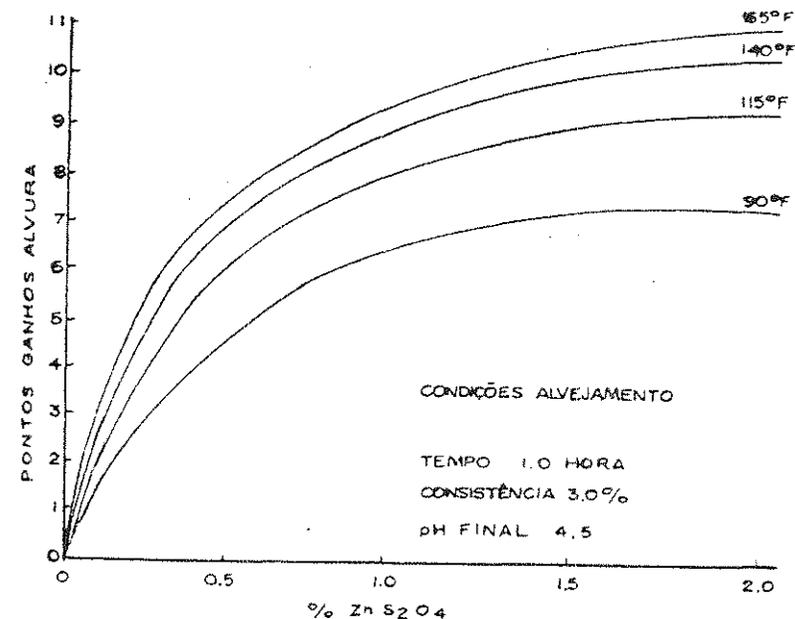


Figura 5-2. Efeito da % hidrossulfito e temperatura

b) Efeito da Temperatura

Os níveis normais e práticos são compreendidos entre 43 e 65°C. Há casos, quando a temperatura aplicada chega a 110°C.

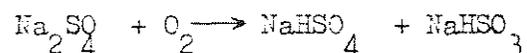
A compensação temperatura x tempo é válida apenas a té certo ponto. A quantidade de pontos esperados em alvura a temperatura alta e tempo curto, não é igual àqueles conseguidos com temperatura baixa e tempo longo.

As temperaturas mais altas são usadas, geralmente, quando se aplica maiores percentagens de hidrossulfitos, isto é, quando se pretende atingir maiores níveis de alvura.

c) Efeito do Tempo de Retenção

O tempo de retenção depende da temperatura. De um modo geral, alvura sofre uma deteriorização se o tempo de reação é excedido. Porém, acima de 60°C, a deteriorização ocorre muito lenta (na ausência de ar).

Deve-se observar que a presença de ar na pasta, durante o alveamento com hidrossulfito, é fatal, visto que ocorre reação no sentido não desejado e conforme a equação:



A tabela a seguir apresenta o tempo em minutos, necessário para consumir 95-98% de hidrossulfito aplicado.

Temperatura °C	Hidrossulfito aplicado % / pasta a.s.				
	0,23	0,46	0,69	0,92	1,58
32	60	90	180	240	260
40	45	60	120	180	240
60	30	45	60	90	120
74	15	30	45	60	60

(fonte: Virginia Chemicals & Smelting Co.)

Normalmente, e para níveis de hidrossulfitos normais o tempo de retenção de 60 minutos é suficiente.

d) Efeito de Consistência

Aparentemente, a consistência não tem influência significativa sobre alveamento. Normalmente, os níveis de consistência aplicados variam entre 3 e 5%. Aos níveis superiores a 6% a presença de oxigênio, mais difícil de ser eliminado, reduz o efeito de alveamento.

5.3. Alveamento com Peróxidos

Apesar do custo mais elevado e um processo mais complexo, os peróxidos são considerados os agentes alvejantes mais eficientes e recomendados, especialmente quando alvuras mais elevadas e não reversibilidade da cor são exigidas.

Descoberto em 1818 por L.J. Theward, o peróxido de hidrogênio foi usado inicialmente como antisséptico e em seguida como alvejante de fibras de origem animal (cabelo, lã).

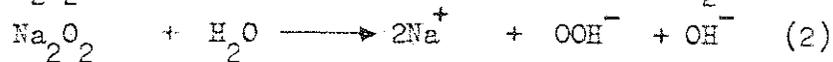
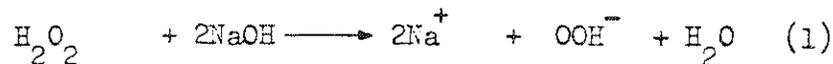
Em 1905 e 1907, foram requeridas patentes alemã e americana, respectivamente, a fim de aplicá-lo como agente alvejante para pastas.

O uso comercial de peróxido em grande escala, deu-se somente por volta de 1941, com o arranque da primeira planta de branqueamento com peróxido nos EE. UU.

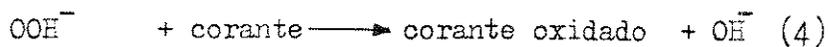
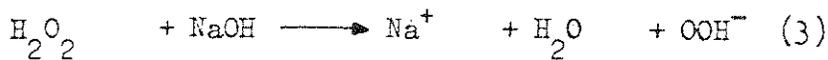
5.3.1. Reações

O mecanismo da reação química de peróxido é a mesma para qualquer aplicação, embora as condições específicas variam de acordo com a qualidade de pastas utilizadas.

A dissociação do produto ocorre segundo as equações



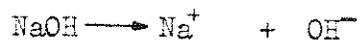
Reações básicas que ocorrem durante o alvejamento são:



As equações (3) e (4) representam a teoria aceita, de que a ação alvejante cabe ao íon perhidroxila, pela solubilização e descoloração de materiais corantes da lignina.

Aumentando-se a alcalinidade, aumenta-se também a concentração de íon perhidroxila, agente ativo de alvejamento.

Hidróxido de sódio, ioniza, conforme a fórmula:



O íon hidroxila reage com íon de hidrogênio, formando água e deslocando as equações (1) e (2) para a direita.

A presença de íons de metais pesados (Fe, Cu, Ni, - Mn), bem como certas enzimas e catalases (proveniente de ação microbiana nas pastas), cataliza a decomposição de peróxido e reduz a capacidade alvejante do mesmo.

Surge daí a necessidade de se levar em consideração

e assegurar o controle adequado, durante o alvejamento, das equações (3), (4) e (5), através das prevenções contra contaminação do sistema pelas impurezas metálicas e contaminação microbianas.

5.3.2. Componentes da Solução Alvejante

Comercialmente, a solução é preparada dos seguintes componentes: água, sulfato de magnésio (sal de Epsom), silicato de sódio e, naturalmente, peróxido de hidrogênio ou sódio. O pH final da solução é controlado pela adição de NaOH ou de H_2SO_4 .

a) Água - É indispensável o uso de água tratada, livre de sais de metais pesados e com baixo teor de matérias orgânicas. Mesmo em instalações de tratamento adequado, o teor desses elementos pode variar consideravelmente, conforme temporadas e condições de água bruta.

A maneira mais fácil de verificar a boa qualidade da água, consiste em preparar em escala laboratorial a solução alvejante e verificar periodicamente a sua estabilidade.

b) Sulfato de Magnésio - É encontrado no mercado como sal cristalizado, acondicionado em sacos e tambores diversos. Sua fórmula é $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Reage como silicato de sódio, formando sal de magnésio, cuja propriedade de inibição de íons de metais pesados impede a decomposição de peróxidos.

A presença de Ca ou Mg em certas águas

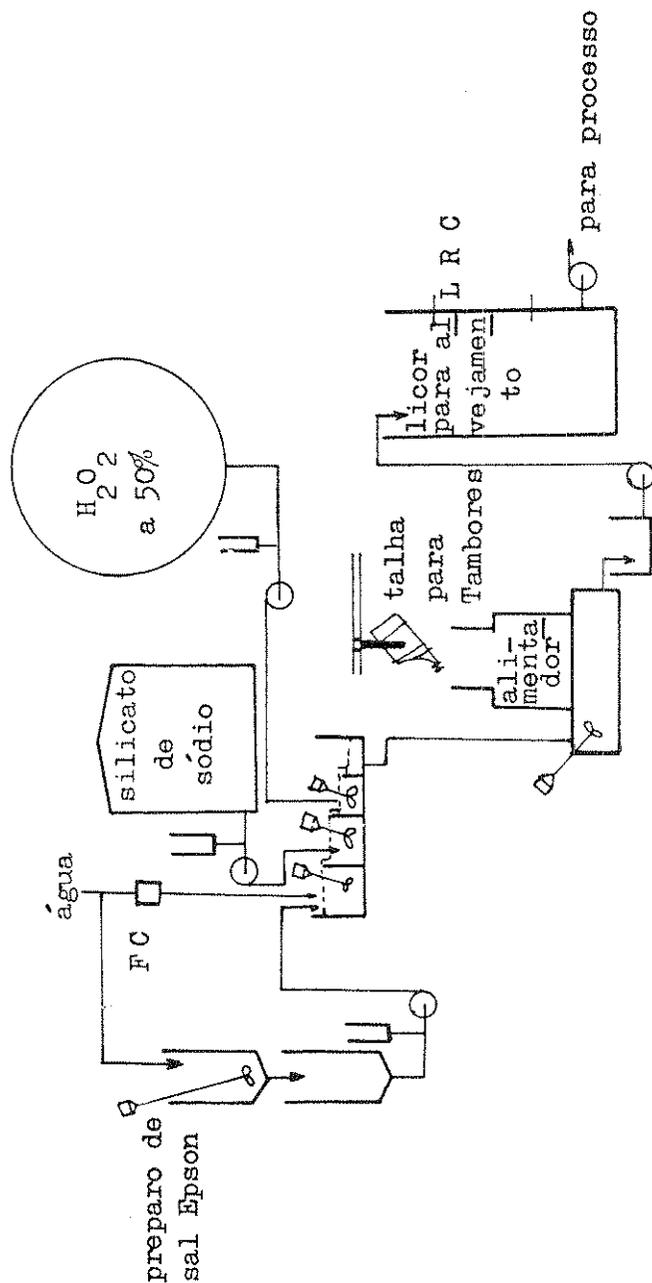


Figura 5-3: Preparação do licor de alveijamento de peróxido

duras parece ter o mesmo efeito.

- c) Silicato de sódio - Deve-se usar o produto com baixo teor de ferro, que normalmente é fornecido em tambores metálicos ou carros tanques. A solução tem uma densidade de $41^{\circ} Be'$ e contém 25-29% de SiO_2 com respectivo equivalente em NaOH.
- d) Peróxidos - Ambas as formas são equivalentes, quando comparadas na base de hidrogênio ativo. O peróxido de sódio comercial é fornecido em tambores metálicos com uma pureza de 96%, seu preço é mais caro do que o de hidrogênio, porque contém NaOH. Apresenta-se como um pó amarelado, sendo ao mesmo tempo um ativo oxidante e um álcali forte. No manuseio do mesmo, deverá ser tomada, uma série de precauções. Em contato com matéria orgânica, o peróxido causa uma oxidação violenta, podendo ocorrer uma explosão. O peróxido de hidrogênio industrial encontra-se no mercado na forma de uma solução aquosa de 35% a 70%. Na medida do aumento da concentração, diminui o seu custo, porém, aumentam as medidas de segurança para o seu manuseio. Nas concentrações mais elevadas, o peróxido de hidrogênio é mais estável. É fornecido geralmente em bombonas ou recipientes plásticos, ou, então, em carros tanques.

5.3.3. O Processo de Alveijamento com Peróxidos

São os seguintes elementos básicos para o processo peróxido:

Sistema de preparo da solução alvejante,

Sistema de preparo de pasta (medição, pré-tratamento, etc.)

Misturadores de vapor,
Capacidade de retenção,
Sistema de neutralização.

Conforme podemos observar na fig. 5-4, o alvejamento com peróxidos pode ser conduzido, basicamente, em três consistências: baixa, média e alta.

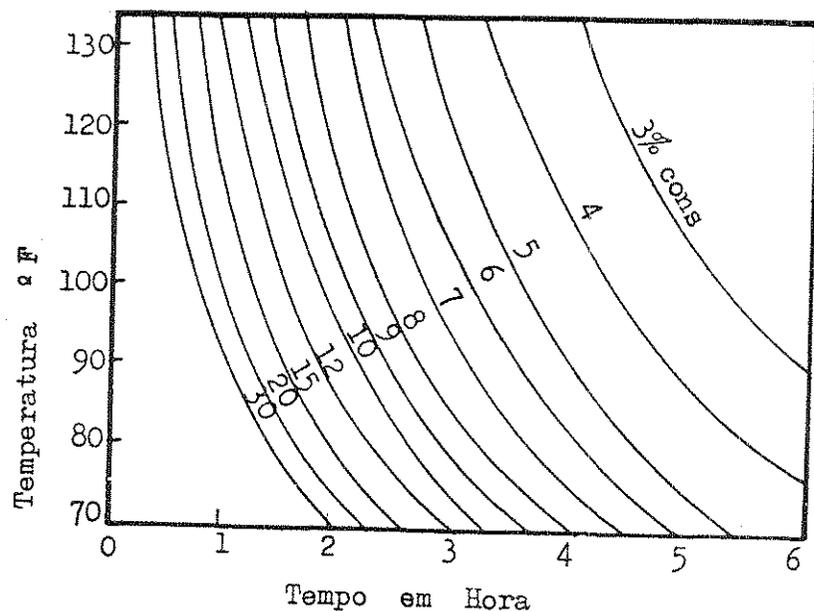


Figura 5-4: Relações entre tempo, temperatura e consistência no alvejamento com peróxido

a) Alvejamento a baixa consistência - Traz a única vantagem de poder ser adaptado às instalações e equipamentos já existentes. O consumo de reagentes e vapor, é mais elevado, sendo que o máximo de pontos atingidos dificilmente passa de 10 GE. Adição da solução alvejan

te pode ser feita na sucção da bomba e o sistema de retenção pode ser substituído por um simples tanque com agitação. O tempo de retenção é de 4 horas ou mais.

No final da operação, adiciona-se uma solução de SO_2 (na bomba de descarga do tanque), a fim de neutralizar o álcali e precede-se uma lavagem. Se usarmos dois ou mais tanques, teríamos uma operação semi-contínua.

b) Alvejamento a média consistência - É a variante mais comumente usada no alvejamento em um único estágio e, de preferência em operação contínua.

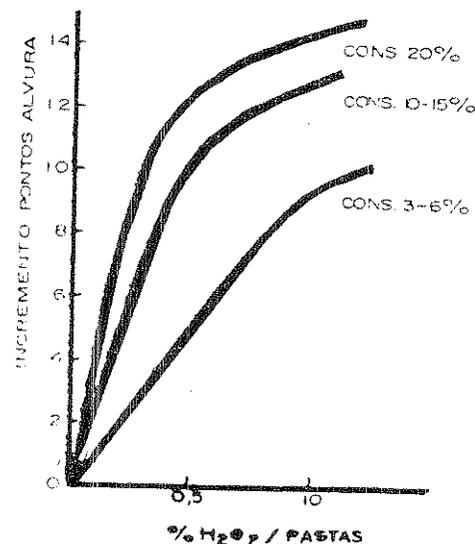


Figura 5-5: Relação entre porcentagem de peróxido e ganho em alvura

Após engrossada nos filtros a vácuo, a pasta (10 - 15% de consistência) recebe aditivos e é encaminhada para um misturador de vapor, onde adiciona-se so

lução alvejante e vapor. A retenção é feita em torre descendente durante o tempo necessário para conseguir o consumo de 90% de peróxido aplicado. Após neutralização até pH 5-6, procede-se uma lavagem.

c) Alvejamento a alta consistência - É o sistema mais eficiente e economicamente mais viável. Após engrossamento até 10-12%, um filtro-prensa (de rosca ou de disco) aumenta a consistência até 20-35%.

Adição de alvejante, aquecimento e a mistura são efetuados, geralmente, num refinador de placas cônicas ou num misturador, especialmente desenhado para alta consistência. A retenção é feita em torres cônicas descendentes, equipadas no fundo com um sistema especial para descarga.

Após neutralização-diluição, a pasta é lavada.

Os fatores que influenciam o alvejamento da pasta, com peróxidos são comentados a seguir:

a) Efeito de peróxidos - (%) - A resposta do efeito é muito constante e proporcional até aproximadamente 1% de peróxido sobre pasta a.s.. Acima desta percentagem, a curva (fig.5-5) começa a sofrer uma deflexão acentuada. O efeito de peróxido, quando aplicado em mais de um estágio até um valor considerado máximo, é praticamente somativo.

b) Efeito da Temperatura - Embora a eficiência do alvejamento possa variar de um caso para outro, a fig. 5-4 mostra a influência de ambos os fato

res sobre o resultado final. O incremento da temperatura exerce ao mesmo tempo a influência sobre dois fatores opostos: aumenta os pontos de alvura, mas contribui para a reversão de coloração.

Considera-se que, de um modo geral, a temperatura, durante o alvejamento, compreendida entre 32°C e 54°C, é suficiente para completar a reação no tempo de 2-4 h e à consistência de 3-30%.

c) Efeito de Consistência - Na medida que aumentarmos a consistência, aumenta também a eficiência do alvejamento e encurta o tempo de operação (fig 5-4 e 5-5).

d) Efeito do pH - Os valores, considerados ótimos, estão entre 10,0 - 11,0 e dependem da percentagem de NaOH, silicato ou próprio Na_2O_2 aplicados. A alcalinidade total ou livre elevada favorece a reação de alvejamento, mas contribui para a reversão da cor. Parece que a melhor quantidade de álcali total aplicado está na razão de 1,6 : 1,0 em relação ao peróxido aplicado. No entanto, os níveis ótimos deverão ser estabelecidos para cada tipo de pasta utilizada e condições locais existentes.

e) Efeito do Tempo de Retenção - A própria figura 5-4 indica a interdependência do tempo, temperatura e consistência. A tendência geral, no entanto, leva à redução deste fator, visando reduzir custos de investimentos em torres ou tanques de retenção.

O quadro a seguir dá uma idéia, quanto às condições ótimas para alguns casos típicos:

	CONSISTÊNCIA (%)		
	Baixa	Média	Alta
H ₂ O ₂ ou Na ₂ O ₂ (%)	0,5-2,0	0,5-2,0	0,5-2,0
NaOH (%)	1,2-1,0	1,2-1,0	1,2-1,0
Silicato de Sódio (%)	4-5	4-5	4-5
Sal de Epson (%)	0,5	0,5	0,5
pH	10,0-10,5	10,0-10,5	10,0-10,5
Tempo (h)	3-6	1,5-3,0	1 - 2
Temperatura (°C)	33-46	33-46	45

Frequentemente, onde se pretende atingir níveis elevados de alvura, ou quando a alvura inicial é muito baixa (pasta mecano-química, soda a frio), o processo peróxido é seguido pelo hidrossulfito.

A figura 5-6 apresenta um fluxograma do processo em dois estágios, sendo que a sequência recomendada é sempre no sentido do alcalino para ácido.

No caso da próxima figura, trata-se de uma instalação contínua e a média consistência.

A pasta entra através do medidor, onde recebe alguns aditivos (CaCl₂, por exemplo), sendo encaminhada para filtros a vácuo para chegar a 10-15% de consistência. Antes de entrar na primeira torre, a pasta recebe a solução alvejante, passando por misturador. Em seguida, recebe a solução de SO₂, sendo diluída com água branca até aproximadamente 4% de consistência. No próximo misturador, adiciona-se a solução de hidrossulfito e a pasta passa para a segun-

da torre. Após ambos os estágios, a pasta é apenas lavada (às vezes não) e enviada para aproveitamento final.

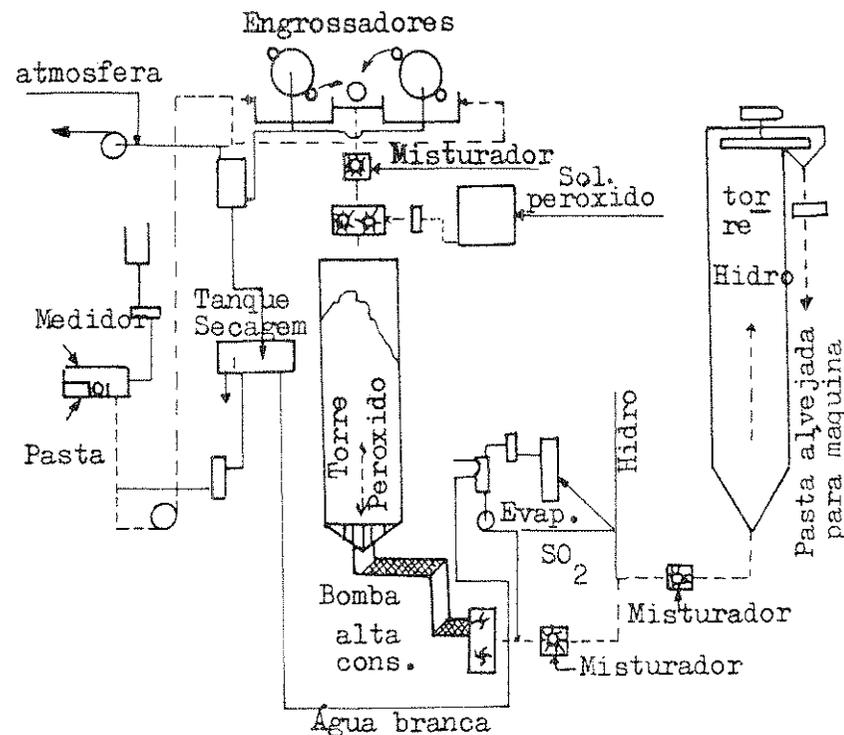


Figura 5-6- Instalação para alvejamento com peróxido e hidrossulfito

6. COMPARAÇÕES ENTRE AS PASTAS MECÂNICA CONVENCIONAL, DE REFINADOR E TERMO-MECÂNICA

A pasta termo-mecânica é geralmente considerada superior em qualidade aos outros tipos de pasta mecânica. Esta superioridade tem sido demonstrada em inúmeros trabalhos encontrados na literatura.

6.1. Qualidade

A qualidade das pastas mecânicas são avaliadas por alguns índices dos quais os mais importantes são:

- grau de refino (²SR ou CSF)
- alvura
- teor de feixes
- classificação das fibras
- resistência ao estouro
- resistência à tração
- resistência ao rasgo
- volume específico aparente
- opacidade
- coeficiente de dispersão e absorção da luz

Infelizmente estes testes não são suficientes, em muitos casos, a fornecer informações sobre o comportamento da pasta nas máquinas de papel. O mais difícil é portanto a interpretação dos mesmos, extrapolando-se conclusões válidas rapidamente para o comportamento das folhas nas máquinas, visando um bom desempenho das mesmas.

Outros testes que são também utilizados na avaliação da qualidade de pastas mecânicas são:

- superfície externa específica
- fator "length" de Forgacs (L)
- fator "shape" de Forgacs (S)

Embora os fatores L e S de Forgacs prometam uma melhor correlação com a qualidade da pasta, ainda se fazem necessários mais estudos para uma melhor interpretação e avaliação das pastas mecânicas.

Uma comparação de qualidade entre as pastas mecânicas convencionais, de refinador e pasta termo-mecânica

ca teria então que ser feita com base nos parâmetros tradicionais. É também difícil uma comparação exata entre os três tipos de pasta porque os dados industriais se referem a madeiras diferentes. Deve-se também levar em conta que a tecnologia para os processos em refinadores está sofrendo melhorias dia a dia, e resultados apresentados hoje, logo se tornarão obsoletos.

No quadro a seguir estão apresentados faixas de variação em termos de qualidade destes três tipos de pasta mecânica.

Em resumo:-

A pasta mecânica convencional requer menos energia que as outras duas por tonelada de pasta. Ela é a mais alva, possui maior coeficiente de dispersão de luz e produz normalmente um papel melhor acabado. O rendimento deste processo, que pode ser mais que 95%, é o mais alto dos três processos. As desvantagens deste processo é que ele requer mais mão-de-obra e somente algumas madeiras de coníferas podem ser utilizadas. A pasta é a mais fraca das três, com menor estouro, rasgo e auto-ruptura e com fibras mais curtas.

O processo mecânico de refinador é mais versátil com respeito à matéria-prima. O rendimento é bom chegando a 94%. É o processo que requer menor mão-de-obra dos três a também é o que necessita menos investimentos. O processo é de mais fácil automatização e controle que o processo de desfibrador. A pasta drena mais facilmente, é mais fácil de se controlar a qualidade e produz um papel mais re

sistente que a de desfibrador. O processo de refinador requer pelo menos 40% mais energia que o processo clássico de desfibrador.

Quadro 6-1: Qualidades de diferentes tipos de pastas mecânicas

Propriedade \ Pasta	Mecânica Convencional	Mecânica de Refinador	Termo Mecânica
Rendimento, %	95	93-94	92-93
Energia total (HPD/t)	40- 90	60-120	60-120
Freeness, CSF	70- 200	70-200	70-200
Volume específico aparente, cm ³ /g	2,1-2,8	2,1-2,9	2,0-2,7
Fator estouro	10- 20	10-25	15-35
Fator rasgo	30- 60	50-90	80-95
Auto-ruptura, km	1,5- 3,5	2,0-4,5	3,5-6,0
Elongação, %	0,5- 1,5	1,0-2,5	2,0-3,0
Alvura, °GE	55- 65	50-60	45-60
Opacidade, %	96- 98	96-98	94-97
Feixes, %	0,1- 0,8	0,1-0,8	0,05-0,2

O processo termo-mecânico produz a pasta mais resistente das três. A alvura não é tão alta quanto as outras duas, sendo em média apenas 0,5 °GE inferior à pasta mecânica de refinador e 3-5° GE inferior à pasta convencional. O rendimento é o mais baixo, por volta de 93%, porém o processo é o menos exigente em matéria-prima. A pasta contém menos feixes e pela sua melhor qualidade permite maiores velocidades da máquina de papel. Embora o processo use um estágio de vaporização, ele exige a mesma quantidade de energia que o processo mecânico de refinador.

6.2. Custos

Doyle, 1976 apresentou um estudo comparativo dos custos de capital e operacionais para os três processos de produção de pasta mecânica. Neste estudo hipotético, para uma fábrica de 400 toneladas/dia, os preços foram tomados como os de mercado, em novembro de 1975.

Os custos de capital ou investimentos necessários com base em tonelada seca ao ar por dia foram:

<u>Processo</u>	<u>Investimento (US\$/t.d.)</u>
Mecânico convencional	53400
Mecânico de refinador	49900
Termo-mecânico	55100

Estes custos não incluem juros, capital de giro, peças de reserva e sistema de tratamento de efluentes.

Os custos de operação para os três processos, usando-se madeira de conífera seriam:

<u>Processo</u>	<u>Custos operacionais (US\$/t)</u>
Mecânico de rebolo	114,93
Mecânico de refinador	122,23
Termo-mecânico	127,43

Estes valores incluem custos da madeira, mão-de obra, energia, manutenção, produtos químicos, depreciação e administração, para rendimentos de 95% para processo de rebolo, 94% para processo de refinador e 93% para processo termo-mecânico.

Embora o investimento necessário e os custos operacionais sejam maiores para o processo termo-mecânico, a sua vantagem está no fato que a sua pasta substitui uma maior quantidade de celulose química na fabricação do papel jornal.

Doyle, 1976 relatou os seguintes preços de celulose para fabricação de uma tonelada seca ao ar de papel jornal:

<u>Mistura de Celulose</u>	<u>Custo de celulose (US\$/t)</u>
30% Kraft/70% pasta de rebolo	153,95
25% Kraft/75% pasta de refinador	152,92
15% Kraft/85% pasta termo-mecânica	145,06
10% Kraft/90% pasta termo-mecânica	139,18

A economia em custos de celulose para o processo termo-mecânico é claramente evidente.

LITERATURA UTILIZADA E CONSULTADA

1. ATACK, D. - On the characterization of pressurized refiner mechanical pulps, 1970
2. ATACK, D. & MAY, W.D. - Frictional mechanism in the grinding process, 1958
3. ATACK, D. & MAY, W.D. - Pulp and Paper Magazine of Canada 64 (C) : T 75-83, 1963
4. BRITT, K. W.- Handbook of Pulp and Paper Technology, 1970
5. DOYLE, M. F.- Cost comparison of mechanical pulping process. Pulp and Paper Magazine of Canada 77 (6) : 27-30, 1976
6. FORGACS, O. Pulp and Paper Magazine of Canada 64 (C) : T 89-118, 1963
7. GAVELIN, G. Science and Technology of Mechanical Pulp Manufacture, 1966
8. HOLZER, W. F.- Paperi ja Puu 45 (11) : 617-622 1963
9. KLEMM, K. - The interpretation of groundwood production by fiber technology, 1955
10. KLEMM, K. - Modern methods of mechanical pulp manufacture, 1958
11. KORAN, Z. - Svensk Papperstidning 71 (17) : 567-576, 1968
12. KORAN, Z. - Wood and Fiber : 247-258, 1970
13. LEASK, R. - A review of Thermo-mechanical pulping. Pulp and Paper Canada 76 (10) : 52-60, 1975
14. LIBBY, C.E- Ciência y Tecnologia sobre Pulpa e Papel, CECSA, 1967
15. LOGAN, K.; POWELL, F. ; STANNERS, L. & SEPALL, Q. - Some preliminary experiments with

ÍNDICE

Pág.

pressurized refining of wood chips,
1968

16.LORAS, V. -Brightening of thermo-mechanical -
pulp, Oslo, NPPRI

17.MACDONALD, R. - Pulp and Paper Manufacture, the
Pulping of Wood, 1969

18.MAY, M.& ATACK, D. - Dynamics of a Viscoelastic
Wear particle between Sliding Surfa-
ces, 1963

19.POSCHMANN, F.J. - Modern reduction bleaching of
groundwood, BASF, 1961

20.RYDHOLM, S. A - Pulping Processes, 1965

21.UNIVERSITY OF MAINE - Industrial Lectures on
Pulp and Paper Manufacture, 1952

22.WURTZ, O. - Fabricacion del Papel, 1956.

1. Histórico	2
1.1. Pasta Mecânica Convencional (PM).....	2
1.2. Pasta Mecânica nos Refinadores (PMR)..	8
1.3. Pasta Termo-mecânica (PTM).....	11
1.4. Outros Processos	11
2. Fabricação de Pasta mecânica convencio- nal (PM)	12
2.1. Introdução	12
2.2. Matéria-prima	16
2.3. Equipamentos	17
2.3.1. Desfibradores	17
2.3.2. Pedra ou Rebolo	24
2.3.3. Preparo de Superfície (Afiação).....	27
2.3.4. Outros Equipamentos	31
2.3.4.1. Depuradores	32
2.3.4.2. Refinadores	32
2.3.4.3. Engrossadores	32
2.4. Teoria do desfibramento	33
2.5. Tecnologia do Processo	39
2.5.1. Alimentação	39
2.5.2. Chuveiros	40
2.5.3. Temperatura	41
2.5.4. Consistência	41
2.5.5. Velocidade Periférica	42
2.5.6. Energia	42
2.5.7. Depuração, refinagem e engrossamento..	43
2.5.8. Estocagem da Pasta mecânica (PM).....	43
2.6. Controle de Qualidade	47
3. Pasta mecânica de Refinador	49
3.1. Introdução	49

3.2. Matérias primas	51
3.3. Princípios teóricos	52
3.4. Tecnologia do Processo	53
3.5. Equipamentos	55
3.6. Pasta mecano-química de refinador	56
3.7. Qualidade e usos do produto final	57
4. Pasta termo-mecânica	57
4.1. Introdução	57
4.2. Matérias-primas	59
4.3. Princípios Teóricos	59
4.4. Tecnologia do Processo	60
4.5. Equipamentos	62
4.6. Qualidades e usos	65
5. Alvejamento de pastas mecânicas	65
5.1. Introdução	65
5.2. Alvejamento com Hidrossulfitos	69
5.3. Alvejamento com Peróxidos	75
5.3.1. Reações	75
5.3.2. Componentes da Solução Alvejante	77
5.3.3. O Processo de Alvejamento com peróxi - dos	79
6. Comparações entre as pastas mecânica convencional de refinador e termo-mecâ- nica	85
6.1. Qualidade	85
6.2. Custos	89
Bibliografia	91

