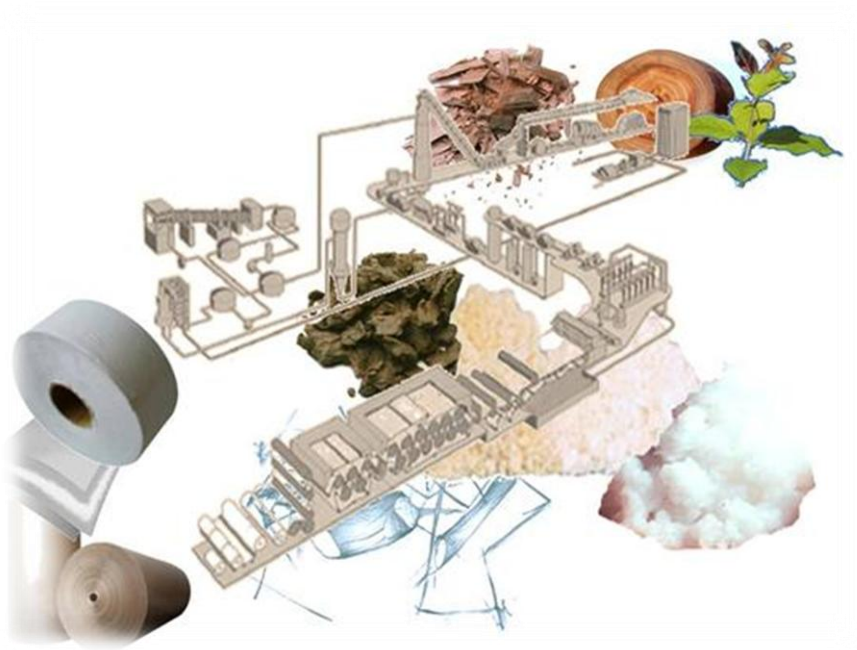


CURSO BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL
com ênfase nas propriedades
dos papéis de fibra curta



INSTRUTOR: Edison da Silva Campos

21 e 22 de junho de 2010

Local: Aracruz, ES, Brasil

Índice

1	Introdução à fabricação de papel	3
2	Principais tipos de papéis	9
3	Matérias primas fibrosas	18
4	Processos de obtenção de fibras	25
5	Desagregação da massa e seus periféricos	35
6	Depuração de fibras virgens e recicladas	40
7	Refinação	56
8	Circuito de aproximação (“approach flow”)	96
9	Máquina de papel (geral)	99
10	Caixa de entrada	107
11	Formação da folha de papel	115
12	Transferência da folha da etapa de formação para a prensagem	149
13	Prensagem	151
14	Secagem	170
15	Colagem superficial e noções de revestimento	202
16	Calandragem	204
17	Parte final da máquina de papel	209
18	Matérias primas não-fibrosas	210
19	Propriedades específicas para os vários tipos de papéis	234
	Bibliografia	268

1. INTRODUÇÃO À FABRICAÇÃO DE PAPEL

1.1. DEFINIÇÃO DE PAPEL

Segundo o dicionário ‘Novo Aurélio’ (1999), o papel é uma *pastas de matéria fibrosa de origem vegetal, refinada e quando necessário, branqueada, contendo cola, carga e, às vezes, corantes, a qual se reduz, manual ou mecanicamente, a folhas secas finas e flexíveis, bobinadas ou resmadas, usadas para escrever, imprimir, desenhar, embrulhar, limpar e construir*. Já para a Wikipédia, a enciclopédia livre (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Papel>, consultada em setembro/2009), *o papel é um afeltrado de fibras unidas tanto fisicamente (por estarem entrelaçadas a modo de malha) como quimicamente (por pontes de hidrogênio)*.

Com base nestas definições e mais algumas considerações técnicas predominantes na linguagem papeleira atual, neste curso, o *papel será definido como uma pasta branqueada ou não, de origem vegetal (e/ou de trapos, nos processos mais antigos), podendo conter outros componentes não fibrosos específicos para cada tipo de papel (colas, cargas, corantes, agentes de resistência a seco e a úmido etc.), a qual se reduz, manual ou mecanicamente, a folhas secas e flexíveis (com fibras unidas tanto fisicamente por estarem entrelaçadas a modo de malha como quimicamente por pontes de hidrogênio, por ligações covalentes e por forças de Van Der Waals), bobinadas ou resmadas, usadas para escrever, imprimir, desenhar, embrulhar, limpar, construir etc.*

A figura 1.01 apresenta amostras de papel ampliadas onde se pode constatar a disposição das fibras nos três planos: direção MD (“Machine Direction”), direção CD (“Cross Direction Machine”) e direção Z ou “Zeta” (espessura da folha).

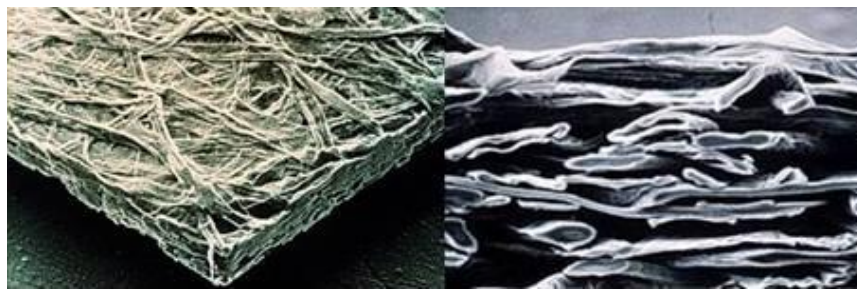


Figura 1.01 (FONTE: Tecnologia e propriedades do papel – ABTCP/UFV)

A composição do papel apresenta características estruturais não homogêneas e que são dependentes, tanto de aspectos químicos quanto físicos que se formam durante a sua fabricação. Com relação aos aspectos químicos deste material, as ligações existentes entre os constituintes da fibra são normalmente covalentes, por pontes de hidrogênio e forças de Van Der Waals. As ligações mais fortes são as covalentes, cuja importância é bastante relevante

para as propriedades do papel, com ênfase nas de resistência. Por outro lado, as forças de Van Der Waals são fracas e pouca influência exerce sobre as propriedades do papel. Já, as ligações por pontes de hidrogênio, mesmo sendo de energia inferior às covalentes (C-O-C), são passíveis de se formarem e serem incrementadas em grande número durante a formação de papel, enquanto as ligações covalentes podem ser prejudicadas com o processo.

As interações químicas a serem estabelecidas entre as fibras dependem da suficiente aproximação destas para ocorrer atrações eletrostáticas. Portanto, o contato é necessário para a formação de um bom grau de ligações interfibras.

Em geral, os seguintes fatores influenciam a formação de ligações entre fibras: o refino, a presença de finos, hemicelulose, cargas minerais, lignina, a origem das fibras, as dimensões fundamentais da fibra, a espécie de madeira utilizada como matéria-prima e ainda a formação da folha, prensagem e a tensão de secagem.

A capacidade conformacional e de coesão das fibras, que estão associadas ao comprimento das fibras, espessura da parede, diâmetro do lúmen e largura das fibras, podem muitas vezes determinar o sucesso da produção de papel. Em fibras que apresentam dimensões que prejudiquem a coesão das mesmas, deve haver um tratamento tal como o da refinação para possibilitar esta coesão, ou até mesmo serem mescladas em composições de suspensão que possibilite amenizar esta dificuldade tais como finos, misturas de fibras ou adição de químicos.

As determinações do número de ligações interfibrilares que as fibras do papel são capazes de formar são diretamente relacionadas ao contato estabelecido entre as fibras, a uma distância tal que possibilite o enlace químico entre estas. As determinações normalmente são realizadas através de princípios de dispersão de luz, contato óptico e expresso em RBA (“Relative Bonded Area” - Área Relativa de Ligação).

Quanto às propriedades do papel, as variações são observadas em decorrência do maior ou menor número de ligações interfibrilares; no caso de redução desse número, significará para o papel maior distância entre as fibras e, obviamente, menor interação físico-química entre elas. Sob tal condição, o papel apresentará maiores valores, por exemplo, para dispersão da luz, opacidade, “bulk” e porosidade, porém, menores valores para propriedades de resistência mecânica, “scott bond” e densidade, por exemplo. Estas alterações poderão ser percebidas nas diferentes direções do papel, inclusive na direção “Z”

1.2. RESUMO HISTÓRICO DO PAPEL

Já há milhares de anos antes da aparição do papel, o homem já fazia os seus registos, através da gravação em pedras ou em metais como o bronze. Além da palavra, este sempre procurou se comunicar através de desenhos ou de símbolos. A comunicação gráfica tornara-se importante para os homens, uma vez que deixava o registro, fixava a mensagem e não se extinguia com o tempo.

É atribuída aos egípcios a 1ª fabricação de um material que, por extensão, poderia chamar-se de papel: o papiro (origem da palavra papel). Esta planta nativa dos pântanos egípcios (figura 1.02) começou a ser usado como material para desenho ou escrita de símbolos, por volta do ano 3.000 A.C., porém os verdadeiros manuscritos egípcios mais antigos parecem datar de alguns séculos mais adiante, talvez em torno do ano 2.200 A.C. Embora ambos sejam compostos de materiais de origem vegetal, não há mais nenhuma relação entre o papiro (figura 1.03) e o papel moderno. Nem mesmo a história do papel mostra de forma contínua o desenvolvimento do papel desde o papiro.



Figura 1.02 (FONTE: <http://pt.wikipedia.org>)



Figura 1.03 (FONTE: indeterminada)

A história do papel é longa, reportando-se aos chineses no Século II, aos quais é atribuída a fabricação da primeira polpa utilizada na fabricação de papel. No ano 105 D.C., um funcionário da corte do imperador chinês **Chien Chú**, anunciou a invenção de um sistema de fabricação de papel. Este funcionário chamava-se **Ts'ai Lun** e muito provavelmente não sabia que, com sua invenção, estaria influenciando profundamente a vida de bilhões de seres humanos a partir de então. Uma das versões diz que **Ts'ai Lun** utilizou como matéria prima as fibras de árvores e fibras têxteis misturadas com trapos; outra versão diz que ele utilizou somente fibras de bambu. Independentemente disto, estas fontes de fibras eram cozidas (figura 1.04A), batidas e depois esmagadas, para em seguida espalhar-se a massa sobre uma peneira com moldura de bambu e um pano esticado (figura 1.04B), deixando-se ao sol para

um processo natural de secagem (figura 1.04C). A invenção do papel, porém, permaneceu confinada e mantida como um segredo pelos chineses durante mais de 600 anos.



Figura 1.04 (FONTE: <http://pt.wikipedia.org>)

No ano de 761 D.C. um exército árabe atacou a cidade de Samarcanda, integrada ao império chinês daquela época. E lá os árabes conheceram uma fábrica de papel, fato fundamental para a história posterior da humanidade. Os técnicos chineses foram presos e transportados alguns anos mais tarde para Bagdá, cidade muçumana recém fundada, dando início naquela região à primeira fabricação de papel, a oeste das fronteiras do grande e desenvolvido império chinês.

Tal fabricação permaneceu em segredo durante muitos séculos, até que no século XI foi introduzido pelos árabes na Espanha, dando início ao caminho da “arte de fazer papel” percorrido pelo ocidente (figura 1.05). Daí se espalhou à Itália, França, Alemanha e, finalmente através dos países baixos, alcançando a Inglaterra em 1.494.



Figura 1.05

(FONTE: <http://pt.wikipedia.org>)

O papel, durante a maior parte de sua história, era fabricado à mão; esse processo de fabricação em descontinuidade persistiu até o aparecimento da 1ª máquina de papel, na França, inventada por **Luis Robert** em 1.799 (figura 1.06). No ano de 1.804, os irmãos **Fourdrinier** apresentaram o método de fabricação do papel de comprimento infinito e instalação por etapas separadas (figura 1.07).

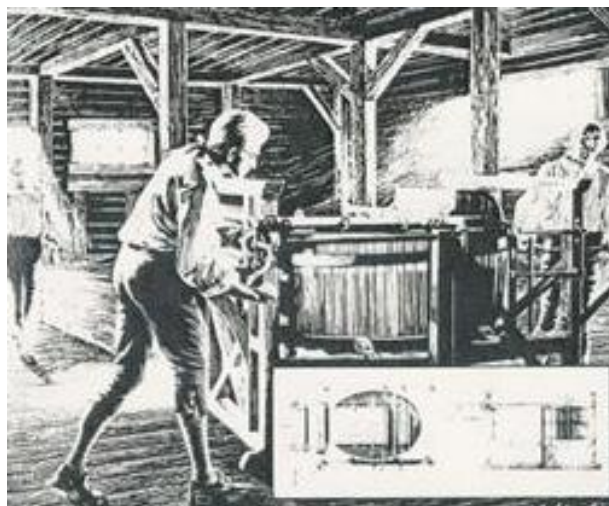


Figura 1.06 (FONTE: 200th Anniversary of the Paper Machine – Tappi Journal)

Pouco depois, em 1.803, a máquina era introduzida e aperfeiçoada na Inglaterra, pelos irmãos **Fourdrinier**, nome pelo qual ficou conhecida essa máquina pioneira no processo contínuo de fabricação de papel. Em 1.808, a máquina inventada por **Robert**, desenvolvida por **Didot**, desenhada por **Donkin** e financiada pelos irmãos **Fourdrinier** ficou conhecida mundialmente como máquina “Fourdrinier”.



Figura 1.07 (FONTE: indeterminada)

Tais máquinas, produzidas a partir da 1ª metade do Século XIX, foram sendo aperfeiçoadas até que, na 2ª metade deste século, introduziram-se as pastas feitas de madeira e de outras plantas diferentes da madeira. Decresceu, então, a importância das pastas de trapos, matérias-primas inicialmente utilizadas na fabricação do papel.

Hoje a máquina “Fourdrinier”, contém basicamente as mesmas etapas do primeiro modelo, só que dado os avanços tecnológicos atingidos com o passar dos anos, houve mudanças radicais nos elementos envolvidos em cada uma delas. Estas mudanças estão relacionadas com as caixas de entrada, formadores, constituição e material das telas formadoras, elementos desaguadores, velocidades de máquina e a sua largura, entre outras. A

figura 1.08 mostra o fluxograma simplificado de uma fábrica de papel para impressão e escrita, por exemplo.

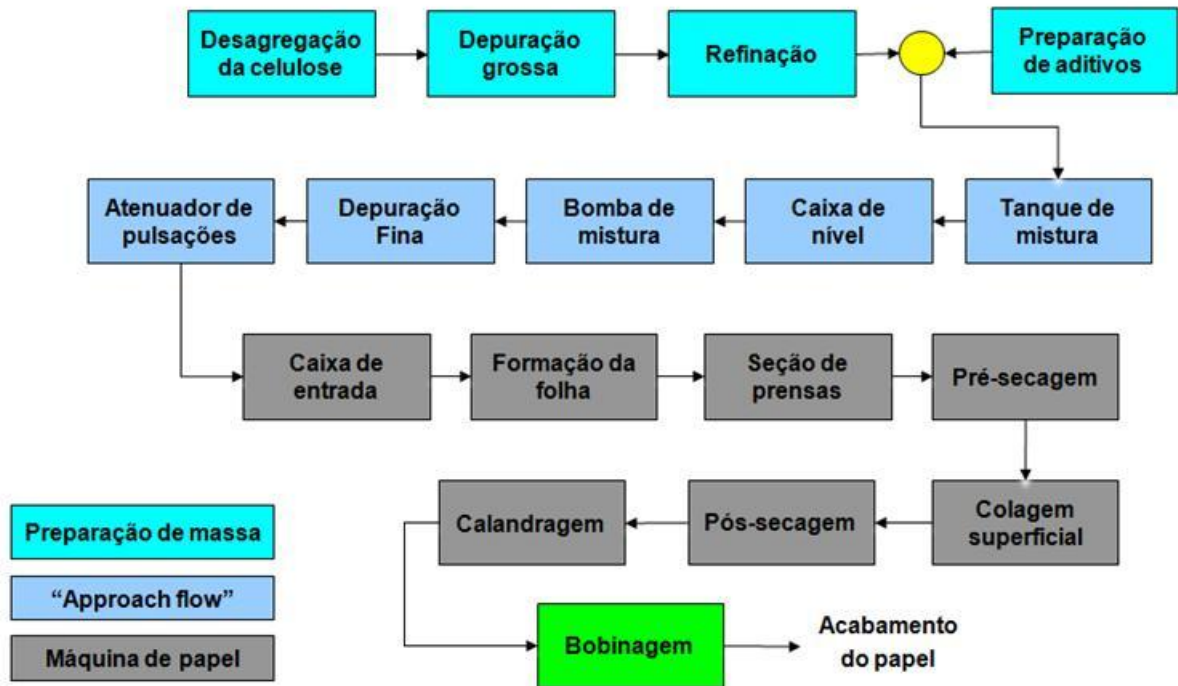


Figura 1.08 (FONTE: Montagem elaborada por E.S.Campos)

As pastas de alto rendimento e as de baixo rendimento (ou químicas) tornaram-se largamente usadas. O aprimoramento no campo da química do papel transformou a sua fabricação, de simples arte, num complexo industrial. Chega ao nosso tempo constituindo uma indústria cientificamente operada. A figura 1.09 mostra um processo integrado de fabricação de celulose e papel, respectivamente.

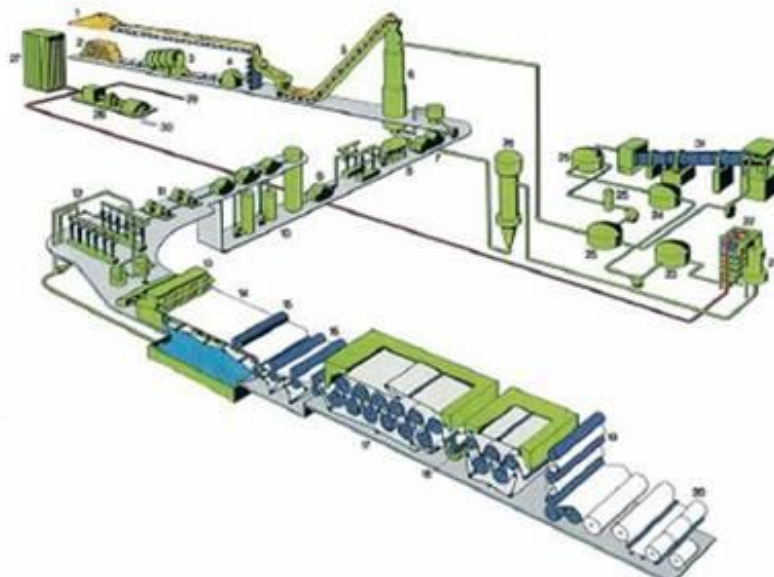


Figura 1.09 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

2. PRINCIPAIS TIPOS DE PAPÉIS

Os papéis são classificados em função de sua aplicação final, tais como: impressão, escrita, embalagens leves e pesadas, sanitários etc. Há outros papéis também que pela variedade enorme de aplicações e pela sua extensão são considerados como especiais.

2.1. PARA IMPRESSÃO E ESCRITA

São os papéis a serem escritos, ou impressos por qualquer um dos processos existentes. Está também incluído neste grupo o papel imprensa e revista. O papel para impressão e escrita foi o primeiro tipo de papel que surgiu. Talvez por isto haja tanta referência bibliográfica falando sobre este tipo de papel. Podemos dividir os papéis de impressão e escrita e três tipos principais: papel imprensa, papéis para impressão (de livros, revistas etc.) não-revestidos e revestidos, e papéis para escrita e reprodução (xerográfico).

PAPEL IMPRENSA - Papel de impressão de jornais e periódicos, fabricado principalmente com pasta mecânica ou quimtermomecânica, usando, às vezes, certo percentual de pasta química, nas gramaturas de 45 g/m² a 56 g/m² (*), com ou sem linhas d'água no padrão fiscal, com ou sem colagem superficial. Termo alternativo: papel de imprensa.

(*) **OBSERVAÇÃO:** a faixa de gramatura apresentada neste e nos outros tipos de papéis a seguir é somente uma referência do que é mais utilizado, podendo haver alguns valores menores que o mínimo e maiores do que o máximo apresentados nestas definições;

PAPEL OFSETE (“OFFSET”) - Papel de impressão, sem revestimento, fabricado com pasta química branqueada, conteúdo de carga mineral entre 10% e 15%, boa colagem interna e superficial, produzido nas gramaturas de 50 g/m² a 180 g/m² com requisitos específicos para o processo ofsete: resistência superficial, colagem interna, estabilidade dimensional, baixa aspereza, planicidade etc.

PAPEL BÍBLIA - Papel muito fino, de baixa gramatura, branco, opaco e resistente, permanente e durável, fabricado com pasta química branqueada e cerca de 20% de carga (dióxido de titânio, preferencialmente), com boa colagem interna e superficial, podendo conter ou não linhas d'água, produzido nas gramaturas de 35 a 50 g/m² e utilizado para imprimir bíblias, missais, dicionários, enciclopédias e obras volumosas em geral.

PAPEL MONOLÚCIDO - Papel fabricado com pasta química branqueada (monolúcido de 1ª), podendo conter pasta mecânica e aparas de 1ª (monolúcido de 2ª), cerca de 10% de carga, com boa colagem interna e brilho num dos lados produzido por cilindro monolúcido na própria máquina de papel, produzido nas gramaturas de 60 g/m² a 90 g/m² para impressão de sacolas, papéis fantasia, rótulos, etiquetas e laminados; não é recomendado para impressão ofsete por não apresentar colagem superficial.

PAPEL CUCHÊ (“COUCHÉ”) - Papel convertido a partir de papel-base, revestido de um ou de ambos os lados com cargas minerais aglutinadas com ligantes (uma tinta à base de látex e pigmentos), na máquina de revestir ou na própria máquina que faz o papel-base, podendo receber acabamento brilhante em supercalandra, texturizado (gofrado) ou mate. Por apresentar ótimas características de nivelamento superficial, é empregado na reprodução de trabalhos de elevada qualidade (rótulos, revistas, impressos comerciais, encartes etc.) por processos de impressão ofsete plana ou rotativa. Produzido nas gramaturas de 70 g/m² a 270 g/m².

PAPEL LWC (“LIGHT WEIGHT COATED PAPER”) - Papel fabricado com pasta mecânica com certo percentual de pasta química branqueada, revestido fora de máquina com 8 g/m² a 19 g/m² de tinta cuchê em cada face, supercalandrado, utilizado na impressão de catálogos, revistas etc.

PAPEL MWC (“MEDIUM WEIGHT COATED PAPER”) - Papel similar ao LWC, revestido com duas ou três camadas, usado para imprimir revistas, catálogos e impressos comerciais de alta qualidade, ou ainda denominação dada ao papel cuchê fabricado com celulose química branqueada, revestido com 15 a 20 g/m²/face, com ou sem calandragem, nas gramaturas entre 80 e 240 g/m², utilizado na impressão de revistas, livros de arte e material de propaganda.

PAPEL APERGAMINHADO - Papel de escrever, opaco, alisado por igual em ambas as faces na própria máquina fabricadora, fabricado com pasta química branqueada, com ou sem aparas, com conteúdo de carga mineral em torno de 16%, colado internamente e sem colagem superficial, alisado e com boa opacidade. Produzido nas gramaturas de 50 g/m² a 90 g/m², normalmente, é utilizado para imprimir cadernos, envelopes e almanacs. Pode ter ou não marca d'água. Usado para correspondência em geral, formulários, impressos, cadernos escolares e

envelopes. Quando o papel apergaminhado é colorido, costuma-se chamá-lo de “SUPER BOND”.

PAPEL XEROGRÁFICO (REPRODUÇÃO) – Papel que pode ser produzido com as mesmas características básicas do OFSETE, porém devendo-se observar o conteúdo de umidade (que deve ser mais baixo) e outras propriedades pertinentes a uma boa “runnability” (andamento de máquina) no processo xerográfico, tais como ser estável ao calor e ao encanoamento, por exemplo.

PAPEL DE SEGUNDAS-VIAS (“FLORPOST”) - Papel fino, fabricado com celulose química branqueada, com boa colagem interna e sem colagem superficial, acabamento alisado ou monolúcido, branco ou em diversas cores, produzido nas gramaturas até 32 g/m². É utilizado, sobretudo, para correspondência e segundas-vias de notas fiscais.

2.2. EMBALAGENS

Papéis utilizados para proteger, acomodar um produto. Como material de embalagem, o papel distingue-se pela grande diversidade de tipos, formas de transformação e combinação com outros materiais. Estes papéis compreendem, principalmente:

- Embalagens leves e embrulhos;
- Embalagens pesadas.

2.2.1. Papéis para embalagens leves e embrulhos

PAPEL ESTIVA E MACULATURA - Papel fabricado essencialmente com aparas, em cor natural, acinzentada, geralmente nas gramaturas de 70 a 120 g/m². Usado para embrulhos que não requerem melhor apresentação, tubetes e conicais.

PAPEL GLASSINE, CRISTAL OU PERGAMINHO - Papel fabricado com pasta química branqueada, trabalhada com elevado grau de refinação, para que em conjunto com a supercalandragem obtenha sua característica típica, que é a transparência. Quando tornado opaco, com cargas minerais, adquire aspecto leitoso translúcido. Apresenta gramaturas na ordem das 20 a 40 g/m² e possuem impermeabilidade elevada. Usado essencialmente para embalagens de alimentos (bolachas, biscoitos, chocolates ou produtos alimentares do gênero “fast food”), base de papel auto-adesivo, proteção de frutas nas árvores etc.

PAPEL “GREASEPROOF” - Papel de elevadíssima impermeabilidade às gorduras, fabricado com pasta química branqueada, geralmente nas gramaturas de 30 a 80 g/m² e diferentes versões de tratamento no processo de fabricação, de forma a garantir a compatibilidade para contacto direto com alimentos, resistência à umidade etc. Translúcido, sem supercalandragem e de coloração branca ou ligeiramente amarelada. Usado essencialmente para embalagens de substâncias gordurosas.

PAPEL MANILHA - Papel colorido ou não, resistente, monolúcido ou não, produzido com pasta mecânica e/ou semiquímica, e aparas de papel, com inclusão de pasta de resíduos agrícolas. Em geral, fabricado nas gramaturas de 40 a 100 g/m², é usado para embrulhos nas lojas, indústrias e congêneres. A denominação se deve ao fato da cor e acabamento do papel ser similar ao papel fabricado com cânhamo-de-manilha.

PAPEL MANILHINHA - Papel fabricado com aparas, pasta mecânica ou semiquímica, em geral nas gramaturas de 40 a 45 g/m², monolúcido ou não, geralmente na cor natural e em folhas dobradas. Usado essencialmente nas padarias.

PAPEL SEDA - Papel de embalagem, fabricado com pasta química branqueada ou não, com 20 a 27 g/m², branco ou em cores. Usado para embalagens leves, embrulhos de objetos artísticos, intercalação, enfeites, proteção de frutas etc.

2.2.2. Papéis para embalagens pesadas

CARTÃO (*) - Papel encorpado, rígido, geralmente com espessura superior a 0,15 mm e gramatura superior a 200 g/m², com ou sem revestimento superficial, muito utilizado na impressão de embalagens. Folha composta de camadas de papel coladas entre si (cartão de colagem) ou fabricada diretamente na máquina cilíndrica (cartão de moldagem) ou em máquinas de papel de multicamadas. Os cartões utilizados para embalagem e acondicionamento são constituídos de uma ou várias camadas; os cartões para uso industrial são geralmente fabricados em enroladeira; os cartões ondulados são constituídos de papel “kraft” ondulado contra-colado em uma ou nas duas faces com um papel de cobertura. As matérias-primas mais utilizadas na fabricação do cartão são as pastas de papel recuperado, mas pode ser utilizada celulose virgem. As máquinas de cartão funcionam por projeção de jato (máquina de mesa plana, máquina de dupla tela) ou por deposição da suspensão fibrosa sobre um cilindro, imerso ou não, assegurando o esgotamento (máquina de fôrma redonda); o

cartão de enroladeira é fabricado sobre uma mesa plana ao fim da qual a folha úmida é enrolada sobre um cilindro; em seguida as folhas são prensadas e secas. Os cartões são classificados de acordo com o número de camadas que compõem a estrutura (monoplex, dúplex, triplex etc.) e com o tipo de polpa de cada camada (polpa química ou mecânica, virgem ou reciclada, branqueada ou não).

(*) **OBSERVAÇÃO:** a distinção entre papel, cartolina e cartão nem sempre é muito clara, o cartão é mais pesado e mais rígido que a cartolina, com a diferença de que o cartão, normalmente é feito de várias camadas com matérias primas diferentes, enquanto a cartolina é feita de um só tipo de matéria prima.

CARTOLINA - Produzida por massa única (mono camada) com ou sem tratamento superficial, alisado ou super calandrado, com gramaturas de 120 a 290 g/m², usada para impressos, pastas para arquivos, cartões de visita e comerciais, confecção de fichas e similares, pode apresentar-se em várias cores. Possui gramatura elevada, rígido, usualmente com espessura igual ou superior a 0,15 mm.

PAPEL “KRAFT” - Papel de embalagem de uso muito extensivo, muito resistente, fabricado com pasta “kraft” não-branqueada ou branqueada. Papel resistente, de cor parda, fabricado com pasta química sulfato de fibra longa, não-branqueada, com elevada resistência ao rasgo, à tração e ao estouro, alisado em máquina, produzido nas gramaturas 70 a 180 g/m². Além da utilização como matéria-prima para fabricação de cartão ondulado e para sacos de papel, papel de parede, papel de embrulho, envelopes e outros produtos que requerem resistência mecânica. O papel “kraft” pode ser utilizado para envolvimento direto de produtos ou combinado com outros materiais, designadamente filmes plásticos (para ganhar resistência mecânica e à umidade), tratamentos químicos (para proteção contra umidade e corrosão) etc. Há ainda uma classificação que identifica KRAFT DE 1ª e de 2ª. Podem ter vários graus de opacidade, é particularmente eficaz na fabricação de embalagens rígidas, e mantêm as suas características num largo intervalo de variação de temperatura, o que explica o seu sucesso como material predominante na fabricação de embalagens de transporte, designadamente de papelão ondulado.

PAPEL “KRAFT” BRANCO OU EM CORES - Fabricado com pasta “kraft” branqueada de fibra longa, nas gramaturas entre 30 g/m² e 150 g/m², monolúcido, usado como folha externa

em sacos multifoliados, sacos de açúcar e de farinha, sacolas e, nas gramaturas mais baixas, para embalagens individuais de balas, etc.

PAPEL “KRAFT” EXTENSÍVEL - Fabricado com pasta química sulfato ou soda não branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente nas gramaturas de 80 a 100 g/m². Altamente resistente ao rasgo e a energia absorvida na tração (T.E.A.). Possui alongamento no sentido longitudinal maior ou igual a 8%. Usado para embalagem de sacos de papel (cimento, cal, etc.).

PAPELÃO - Cartão de elevada gramatura e rigidez. Fabricado essencialmente de pasta mecânica e/ou aparas, geralmente em várias camadas da mesma massa. Sua cor, em geral, é consequência dos materiais empregados na sua fabricação. Usado na encadernação de livros, suporte para comprovantes contábeis, caixas e cartazes para serem recobertos. Comercializado em formatos e identificados por números que indicam a espessura das folhas contidas num amarrado de 25 kg. O **PAPELÃO CINZA** é o cartão obtido a partir de aparas recicladas e o **PAPELÃO LAMINADO** é o papelão fabricado essencialmente de aparas, obtido por colagem de folhas sobrepostas que não são revestidos na superfície, gramaturas de 349 a 1749 g/m², em folhas. Há ainda o **PAPELÃO ONDULADO OU CORRUGADO** que é um papel grosso, constituído de diversas folhas alternadas de papel plano e papel corrugado, utilizado para embalagem.

MIOLO PARA PAPELÃO ONDULADO (“fluting”) - Papel fabricado com pasta semiquímica e/ou mecânica e/ou aparas, geralmente com 120 a 150 g/m². Usado para ser ondulado na fabricação de papelão ondulado.

CAPA DE 1ª PARA PAPELÃO ONDULADO (“kraftliner”) - Papel fabricado com grande participação de fibras virgens, geralmente com 120 g/m² ou mais, atendendo as especificações de resistência mecânica requeridas para constituir a capa ou forro das caixas de papelão ondulado.

CAPA DE 2ª PARA PAPELÃO ONDULADO (“testliner”) - Papel semelhante ao anterior, porém, com propriedades mecânicas inferiores, resultado da utilização de matérias-primas recicladas em alta proporção.

POLPA MOLDADA - Produto obtido a partir da desagregação ou separação das fibras de aparas de jornal e outras em geral, que misturadas a água e produtos químicos, formam uma massa natural ou em cores, que dará origem a produtos como: bandejas para acondicionamento, transporte e proteção de hortifrutigranjeiros, ovos, calços para lâmpadas, celulares, geladeiras e fogões.

2.3. PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS (“TISSUE”)

Os papéis para fins sanitários também são chamados de papéis “tissue”. Constituem-se de folhas ou rolos de baixa gramatura e são utilizados em domicílios, instituições e empresas para a absorção e remoção de umidade, matérias graxas e sujeira. A nomenclatura usual classifica os papéis sanitários em: papéis higiênicos (rolos usados nos toaletes, em folhas simples ou múltiplas), toalhas (em folhas únicas ou duplas, e rolos); guardanapos (em folhas simples ou múltiplas) e lenços (em caixas ou pacotes). A área de papéis “tissue” que estaremos abordando serão os seguintes:

PAPEL HIGIÊNICO - Papel para fim específico (utilização em toaletes), nas gramaturas entre 25 e 35 g/m² em folhas simples ou duplas.

GUARDANAPOS - Papel crepado ou não, fabricado com pasta química branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, para fim específico, nas gramaturas de 18 a 25 g/m², para uso em folha única ou dupla, branco ou em cores.

TOALHAS DE MÃO - Papel fabricado normalmente para uso comercial, natural, colorido ou branco, nas gramaturas entre 25 e 50 g/m². Usado em rolos ou folhas intercaladas.

TOALHAS DE COZINHA - Papel fabricado normalmente para uso residencial, branco, nas gramaturas entre 44 e 50 g/m², em rolos, de folha simples ou dupla.

LENÇOS - Papel fabricado com pasta química branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, nas gramaturas de 15 a 18 g/m², para uso em folhas múltiplas na confecção de lenços faciais e de bolso, branco ou em cores.

2.4. PAPÉIS ESPECIAIS

Além dos anteriores, consideramos ainda um terceiro grupo de papéis, onde se inserem os papéis especiais com grande variedade de produtos, tais como: supercalandrados (SC), térmico, vergê, auto-adesivos, decorativos, absorvente base para laminados, metalizados, autocopiativo, base para carbono, bastão, de segurança, filtrante, vegetal, moeda, cigarro, heliográfico, desenho, mata-borrão, gofrado, base para laminados, base para carbonos, “kraft” absorvente para impregnação, ponteira de cigarros, fórmica e “kraft” especiais para condensadores, cabos elétricos, fios telefônicos etc.

2.5. OUTRAS DENOMINAÇÕES CONSAGRADAS PELO USO

PAPEL BASE - Papel utilizado para suportar materiais auto-adesivos, ou também, diz-se de qualquer suporte destinado a processo de laminação, estampagem, revestimento etc.

PAPEL BONDE (“BOND”) - Papel de imprimir ou de escrever, originalmente designado para impressão de títulos e documentos legais, fabricado com fibras de algodão ou pasta química branqueada.

PAPEL MATE - Papel fotográfico ou papel de impressão revestido e sem brilho, geralmente utilizado em trabalhos de elevado padrão de qualidade onde se deseja realçar as imagens impressas.

2.6. SIGLAS QUE IDENTIFICAM ALGUNS PRODUTOS DIFERENCIADOS (PAPEL)

A tabela 2.01 relaciona as principais siglas utilizadas internacionalmente para o papel.

CWC	Coated woodcontaining printing paper (Papel com pasta mecânica, revestido, para impressão)
CWF	Coated woodfree printing and writing paper (Papel isento de pasta mecânica, revestido, para impressão e escrita)
FBB	Folding boxboard, manilla back board, mechanical pulp based (Papelo para caixa dobráveis, cartão manilha, feito com pasta mecânica)
OCC	Old corrugated containers, waste paper (Aparas de papelo corrugado, papel usado)
RCP	Recovered paper, waste paper (Papel reciclado, papel usado)
SBS	Solid bleached board, chemical pulp based board (Cartão compacto – simples -, cartão feito com pasta química)
UCW	Uncoated woodcontaining printing paper (Papel com pasta mecânica, não revestido, para impressão)
UWF	Uncoated woodfree printing and writing paper (Papel isento de pasta mecânica, não revestido, para impressão e escrita)
WC	Woodcontaining printing paper, mechanical printing paper (Papel com pasta mecânica para impressão)
WF	Woodfree printing and writing papers (Papel isento de pasta mecânica para impressão e escrita)
WFC	Woodfree coated paper (Papel isento de pasta mecânica, revestido)
WFU	Woodfree uncoated paper

	(Papel isento de pasta mecânica, não revestido)
WLC	White lined chipboard, duplex board, recycled fibre based (Cartão branco forrado – laminado-, tipo duplex, feito com fibra recicladas)

Tabela 2.01

A figura 2.01 mostra um estudo feito pela Pöyry prevendo o crescimento da demanda mundial de papel de 2003 a 2020.

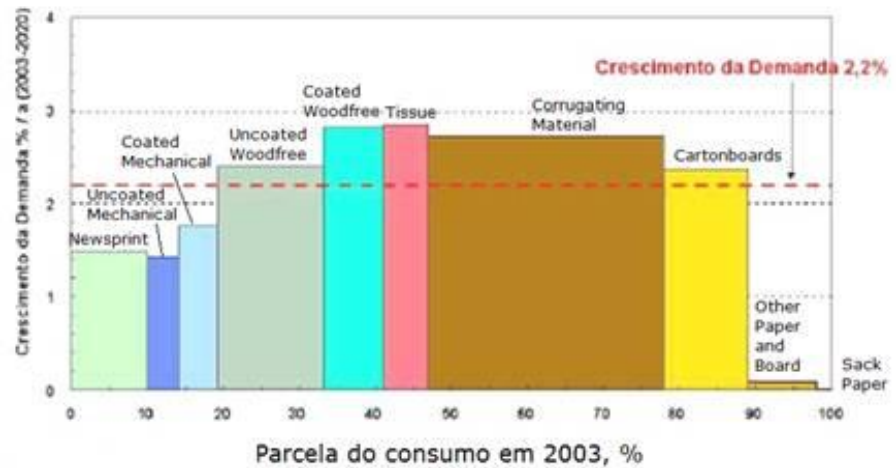


Figura 2.01 (FONTE: Pöyry)

3. MATÉRIAS PRIMAS FIBROSAS

3.1. DEFINIÇÕES

A seguir serão dadas algumas definições importantes relacionadas às fibras. Embora o que realmente importe ao papelero são as características fibrosas, muitas destas características dependem das condições da fibra no seu estado natural e os fatores interligados a ela.

Celulose: é um polissacarídeo linear, com um único tipo de unidade de açúcar (D-glucose ou anidrido-glucopirranose) (figura 3.01 e 3.02).

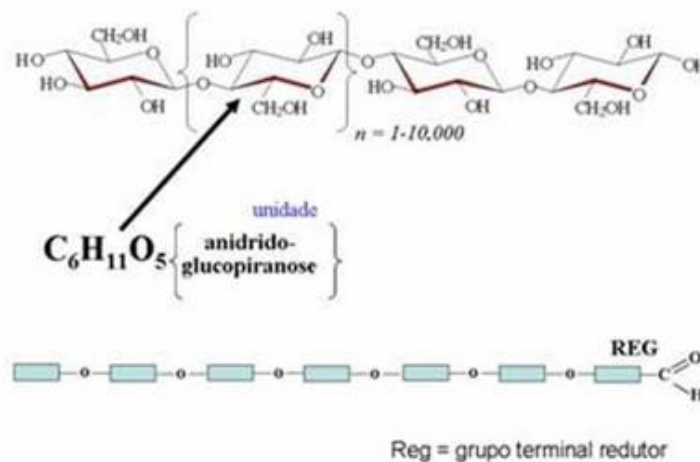


Figura 3.01 (Indeterminada)

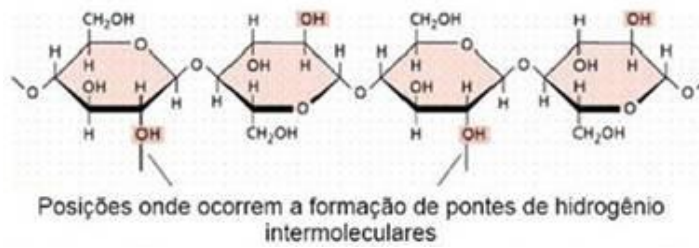


Figura 3.02 (FONTE: Química da madeira - Umberto Klock et alli)

Hemiceluloses (polioses): também são polissacarídeos diferindo, no entanto, da celulose por conterem vários tipos de unidades de açúcar (D-xilose, D-manose, D-glicose, L-arabinose, etc.) (figura 3.03). São polímeros ramificados (amorfos) e de cadeias mais curtas. Na figura 3.04 aparece um exemplo de um tipo de hemicelulose.

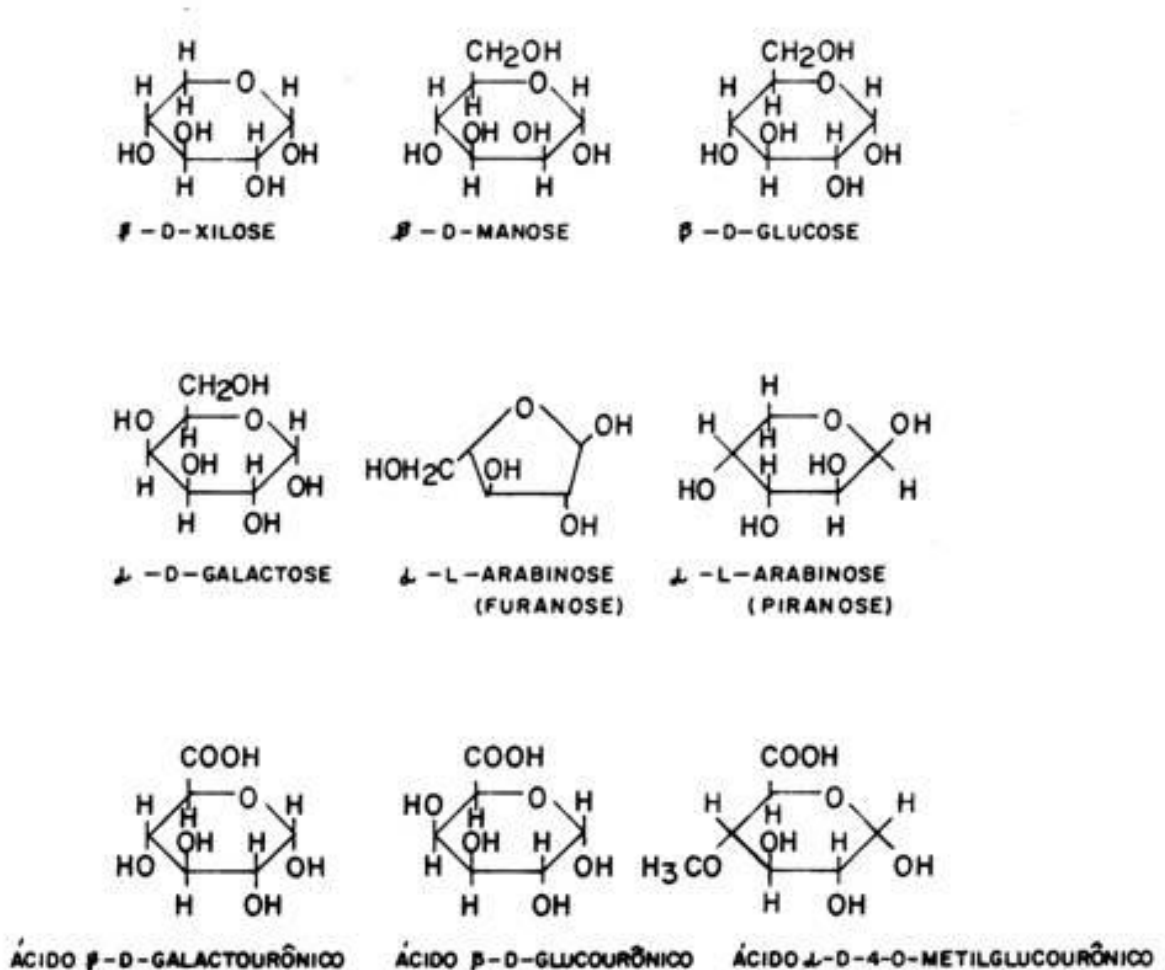


Figura 3.03 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

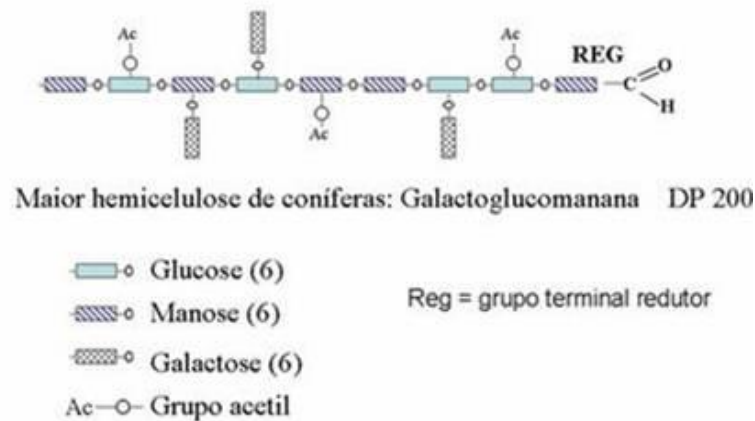


Figura 3.04 (FONTE: indeterminada)

Lignina: é constituída de polímeros amorfos, de composição complexa não totalmente caracterizada. Sua finalidade é conferir firmeza à estrutura. É o ligante que mantém as fibras unidas na estrutura da madeira. É resistente à hidrólise ácida e possui alta reatividade com agentes oxidantes. A figura 3.05 procura mostrar de uma forma simplificada as interações da celulose, hemicelulose e lignina.

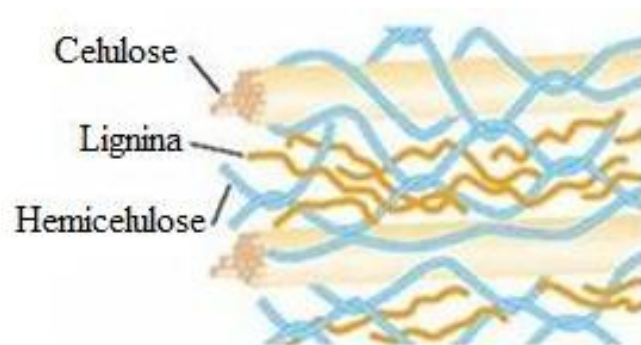


Figura 3.05 (FONTE: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>)

Extrativos: representam ácidos livres: ácido acético, ácido fórmico; ácidos voláteis; ésteres; óleos voláteis (essenciais): hidrocarbonetos, álcoois, cetonas, lactonas, terpenos, terebintina e óleo de pinho (em coníferas); ácidos resinosos: ácidos abiético e pimáricos; ácidos graxos: ácidos oleico, linoleico, palmítico, esteárico, etc; esteróides e taninos

Compostos inorgânicos: são constituídos principalmente de sulfatos, fosfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos de Ca, K e Mg.

3.2. TIPOS DE FIBRAS

3.2.1. Características fibrosas mais importantes para os vários tipos de papéis

O papel é produzido a partir de uma grande variedade de componentes que dependem do tipo de produto a ser obtido. Estes componentes são constituídos de materiais fibrosos e não-fibrosos. As matérias-primas fibrosas que têm sido utilizadas para a fabricação de papel são principalmente fibras obtidas a partir da madeira, outros vegetais que não são madeira (“non-wood vegetable fibers”) tais como bambu e bagaço de cana, trapos (“rags”), “linters” de algodão (“cotton linters”), papel refugo (“wastepaper”) ou aparas, fibras sintéticas (“synthetic fibers”) tais como polietileno, polipropileno, etc; fibras minerais (“mineral fibers”) tais como asbesto, fibra de vidro, etc., e fibras animais (lã e seda). Neste curso focalizaremos principalmente as fibras virgens originadas da madeira e as fibras recicladas.

Um grande número de diferentes espécies de madeira é utilizado para a produção de celulose. Estas espécies podem ser classificadas em dois tipos:

- “softwoods” (ou coníferas) tais como araucária, pinho (“pine”: *Pinus elliotti*, *Pinus taeda*), abeto vermelho (“spruce”), cicuta (“hemlock”), etc.
- “hardwoods” (ou folhosas) tais como eucalipto (“eucalyptus”: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. globulus*), bétula (“birch”), bordo (“maple”), álamo ou faia (“aspen”), carvalho (“oak”), “gmelina”, acácia, etc.

A denominação pasta celulósica, ou celulose, se refere à pasta seca ou em suspensão constituída de fibras oriundas da madeira ou de vegetais que não são madeira. A madeira é constituída basicamente de fibras (celulose e hemicelulose), lignina e extrativos. Na figura 3.06 aparece o que mais interessa para o papelero com relação à constituição química das fibras.

A denominação fibras virgens é dada às fibras que são utilizadas pela primeira vez para a fabricação de papel, a partir de sua obtenção como fibra. No caso das fibras branqueadas de madeira, seria após a etapa de branqueamento (fábricas integradas) ou após a máquina de secagem e enfardamento (fábricas não integradas). Algumas fábricas utilizam máquinas desaguadoras para posterior utilização no processo ou para fábricas de papel próximas a de celulose.

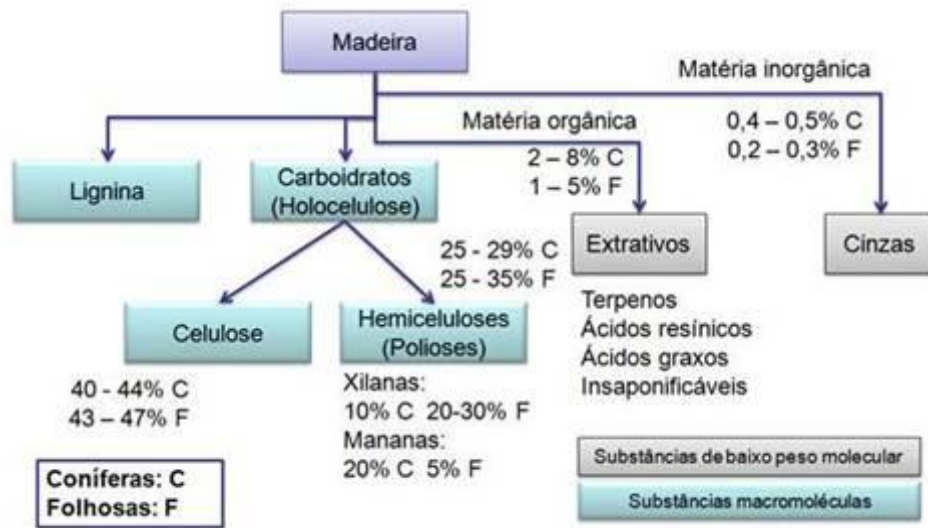


Figura 3.06 (FONTE: montagem elaborada por E.S.Campos)

As fibras são estruturas compostas de fibrilas de celulose com orientação particular para cada classe de fibra. As moléculas de celulose (figura 3.07) tendem a formar pontes de hidrogênio intramoleculares (entre as unidades de glucose da mesma molécula) e intermoleculares (entre unidades de glucose de moléculas adjacentes).

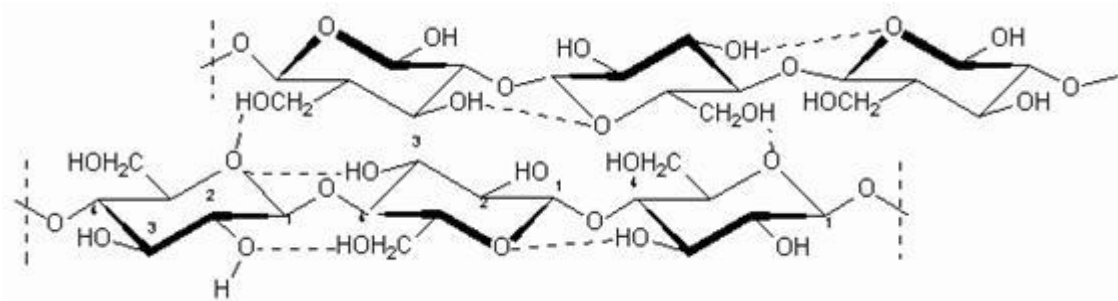


Figura 3.07 (FONTE: <http://www.monografias.com>)

O primeiro tipo de interação é responsável por certa rigidez das cadeias unitárias e o segundo pela formação de fibra vegetal. O composto predominante na parede da célula vegetal é a celulose.

Estas cadeias são agrupadas em feixes chamados micelas que, agrupadas em unidades maiores, formam as microfibrilas as quais por sua vez agregam-se em fibrilas mais grossas chamadas macrofibrilas, formando finalmente as paredes das fibras (figura 3.08).

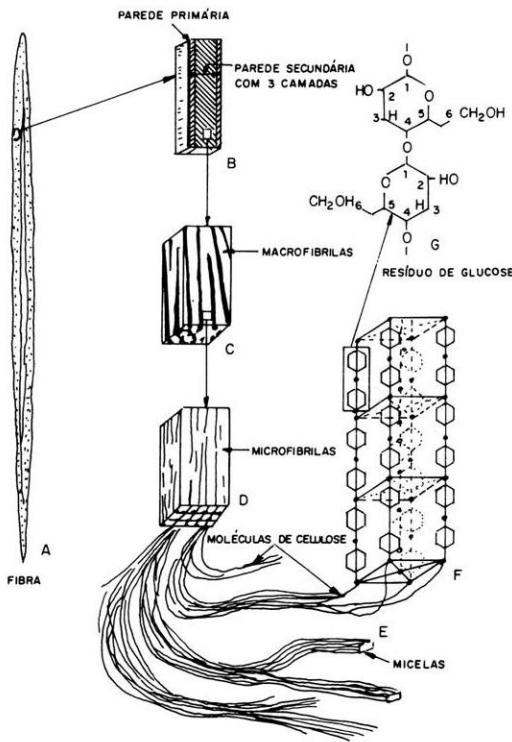


Figura 3.08 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

Quando imersas em água ou em uma atmosfera saturada de vapor de água, uma quantidade de água é absorvida por toda a superfície cristalina exposta, acontecendo assim a hidratação. Isto diminui a atração de uma fibra por outra e permite que uma quantidade adicional de água entre na estrutura pelos espaços existentes através dos cristalitos e as fibrilas produzindo então o inchamento. Com o refino e o inchamento, as superfícies que anteriormente estavam dentro da celulose ficam expostas. Por causa do aumento da superfície produzida pela refinação o número de contato e conseqüentemente as ligações aumentam, o que resulta de uma folha mais resistente.

A figura 3.09 mostra o modelo de uma fibra de conífera, evidenciando a organização estrutural das microfibrilas nas paredes.

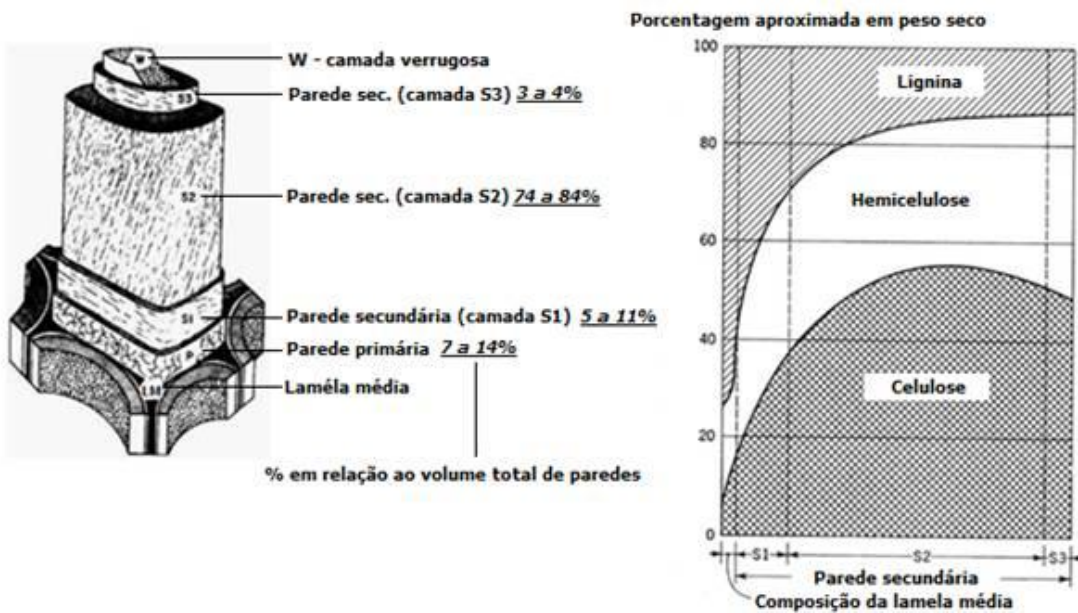


Figura 3.09 (FONTE: montagem elaborada por E.S.Campos)

Mostra também a parede primária, e a secundária dividida em três camadas (S1, S2 e S3). A camada mais próxima da parede primária é a denominada S1 (espessura: 0,2 microns).

A camada seguinte é S2, bem mais espessa (2 a 5 microns). A camada S3 é semelhante à S1 e, às vezes, pode apresentar-se revestida por outra, a camada verrugosa (W). A figura 3.10 mostra cadeias de celulose, microfibrilas e macrofibrilas.

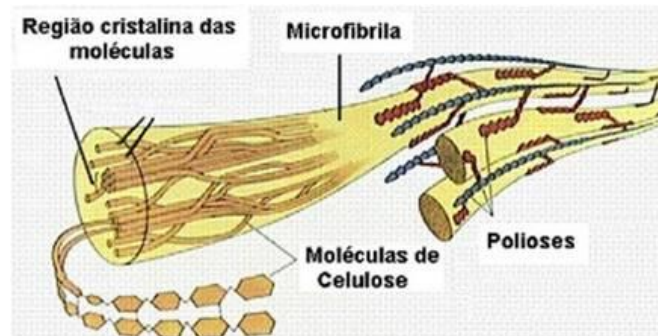


Figura 3.10 (FONTE: Química da madeira - Umberto Klock et alli)

As fibras das madeiras do tipo “softwood” (coníferas) possuem tamanhos típicos que variam de 3 a 5 mm e são denominadas fibras longas. Estas fibras são utilizadas principalmente para papéis que necessitam ser bastante resistentes fisicamente, tais como papéis para embalagem, por exemplo.

Por outro lado, as fibras provenientes das madeiras do tipo “hardwood” (latifólias ou folhosas) possuem tamanhos típicos que variam de 1 a 2 mm e são denominadas fibras curtas. Sua utilização é requerida para papéis que não exijam altos valores de resistência físico-mecânica, mas que possam ter boa formação, superfície bastante homogênea, boa opacidade, como é o caso dos papéis para impressão e escrita. A figura 3.11 mostra as principais diferenças entre fibras de madeira de folhosas e coníferas no que diz respeito à largura e ao comprimento.

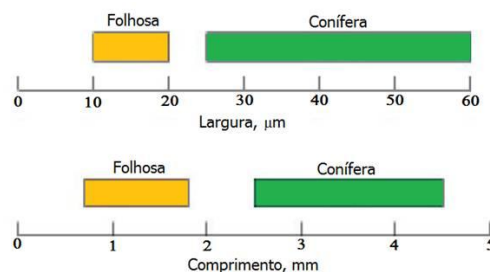


Figura 3.11 (FONTE: <http://www.cismadeira.com>)

As características das fibras utilizadas para a fabricação de papel assumem importância que depende do tipo de papel a ser produzido. Entretanto como os vários tipos de papéis são constituídos em sua essência por ligações espontâneas das fibras, formadas por pontes de hidrogênio, podemos reunir algumas características que são importantes para a fabricação da

maioria dos papéis, com diferenciações de valores que dependem obviamente da aplicação final. Estas características podem ser classificadas em: morfológicas, físicas, mecânicas, químicas e topoquímicas. Como algumas destas características serão mencionadas durante o curso, no momento presente serão apresentadas apenas as características morfológicas: comprimento médio da fibra (C), largura da fibra (D), espessura da parede (E) e largura do lúmen (L), índice de feltragem (C/D), coeficiente de flexibilidade [(L/D)x100], fração parede [(2E/D)x100], índice de Runkel (2E/L) e “coarseness”.

4. PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE FIBRAS

Como foi dito, anteriormente, a madeira é uma matéria prima formada de fibras em múltiplas camadas, ligadas entre si por forças interfibrilares e pela lignina que age como ligante. Para separação dessas fibras, unidas por forças coesivas intermoleculares, é necessário despende certa quantidade de energia. A qualidade, as características e as utilizações da pasta produzida serão funções da quantidade de energia aplicada. Deste modo, pode-se definir o processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ou mecânica. Os diversos processos de polpação podem ser classificados de acordo com seus rendimentos em polpa ou de acordo com o pH utilizado. São vários os processos utilizados para produção de polpas de celulose (tabela 4.01).

Processos de alto rendimento	Mecânico	
	Termomecânico	
	Quimtermomecânico	
Processo semiquímico	Sulfito neutro	
	Soda a frio	
	Soda a quente	
Processos químicos	Alcalinos	Soda
		“Kraft”
		Sulfito alcalino
		Sulfito neutro
	Ácidos	Sulfito ácido

Tabela 4.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

4.1. PASTAS DE ALTO RENDIMENTO

As pastas de alto rendimento (P.A.R.) são aquelas cujo rendimento final da madeira transformada em pasta, acima de 80%, chegando até 97%, obtendo nestes processos um melhor aproveitamento da matéria-prima quando comparados ao processo “kraft” branqueado, por exemplo, cujo rendimento está em torno de 50%.

Em meados do século XIX, as invenções sobre desfibramento da madeira, tanto mecânico como químico, possibilitaram a sua utilização para a produção de papel e cartão, a qual aumento, vertiginosamente, com o desenvolvimento industrial. A madeira, até então considerada como uma matéria prima inexaurível mostra hoje uma escassez universal, fazendo renascer, rapidamente, o interesse pelos processos que apresentam rendimentos superiores aos processos químicos na transformação da matéria prima ligninocelulósica em pasta.

No Brasil, até pouco tempo, os processos de alto rendimento restringiam-se ao mecânico e quimtermomecânico de pedra, cujas pastas são destinadas quase que exclusivamente à confecção de papel imprensa.

Face à demanda crescente de celulose, à estratificação da maioria das reservas florestais no mundo e o aumento gradual do custo da energia, foi despertado um interesse acentuado nos países produtores de celulose por processos de polpeamento de alto rendimento. Exemplificando, podemos considerar papéis absorventes, do tipo higiênico (“tissues”). Estes papéis, desde que tenham cumprido sua finalidade de uso, são jogados fora ou destruídos. Portanto tem vida curta e não são recicláveis e, além disso, um número reduzido de especificações. Isso justifica sua produção com pastas de menor custo.

Estas pastas, que apresentam constituintes não celulósicos da madeira (com teores variáveis) são aplicadas na produção de determinados papéis, cartões ou papelões, cuja resistência às condições ambientais e demais propriedades físicas e mecânicas não sejam muito exigentes, comparativamente aos produtos feitos com pastas químicas. Isto vem ao encontro a uma relação custo/benefício bastante favorável, uma vez que as pastas de alto rendimento têm um custo produtivo bem inferior às pastas químicas.

As pastas de alto rendimento podem ser divididas em: pastas mecânicas, pastas termomecânicas e pastas quimtermomecânicas. As pastas mecânicas são processadas através do processo de desfibramento mecânico que pode ser em pedra mó quando toras, ou desfibradas em desfibrador a disco quando cavacos ou serragem. No caso das pastas termomecânicas, também são usados cavacos ou serragem passando pelo desfibrador a disco, mas aquecidos previamente com vapor saturado. Já as pastas quimtermomecânicas passam por um processo semelhante ao das pastas termomecânicas sendo, porém, tratados levemente com reagentes químicos.

A tabela 4.02 é uma mescla das tabelas obtidas do livro CELULOSE E PAPEL (Tecnologia de fabricação da pasta celulósica) do IPT e Escola “Theobaldo De Nigris” e do curso OBTENÇÃO DE PASTAS DE ALTO RENDIMENTO realizado pela ABTCP em

Curitiba, 2003. O objetivo desta mistura é focalizar o que de fato nos interessa neste curso, contemplando o que é mais comumente usado.

Tipo de pasta	Designação consagrada	Características do processo	Rendimento
Pasta mecânica de pedra (PM)	(Stone) groundwood pulp (SGW ou GW)	Desfibramento de madeira roliça em mó à pressão atmosférica	95 a 97 %
Pasta mecânica de pedra pressurizada (PMP)	Pressurized (stone) groundwood pulp (PGW)	Desfibramento de madeira roliça em mó sob pressão.	93 a 95%
Pasta mecânica de desfibrador despressurizado (PMR)	Refiner mechanical pulp (RMP)	Desfibramento de madeira sob a forma de cavacos ou serragem, em desfibrador de disco, à pressão atmosférica.	94 a 95%
Pasta termomecânica (PTM)	Thermomechanical pulp (TMP)	Desfibramento em desfibrador a disco, sob pressão, de cavacos ou serragem de madeira previamente aquecidos com vapor saturado.	92 a 95%
Pasta quimtermomecânica (PQTM)	Chemithermomechanical pulp (CTMP)	Desfibramento em desfibrador a disco, sob pressão, de cavacos ou serragem de madeira prévia e levemente tratados com reagentes químicos.	80 a 93%

Tabela 4.02 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)/ABTCP

As pastas de alto rendimento se caracterizam por serem produtos com menor alvura, menor resistência mecânica e maior teor de astilhas (“shives”) do que as pastas químicas, mas que por outro lado têm uma maior opacidade, maior “bulk” e um maior rendimento como sua própria denominação já específica. Mas, cada um dos processos para obtenção destas pastas possui suas próprias particularidades. É importante dizer que não há uma melhor ou pior pasta, pois cada uma delas tem uma aplicação específica.

4.1.1. Pastas semiquímicas

A obtenção de pasta semiquímica iniciou-se para utilizar como subproduto certos cavacos de madeiras duras. O processo tem sido obtido por três eventos que coincidiram. Estes foram: o convencimento de que a demanda de matérias primas fibrosas por parte da crescente indústria papeleira necessitava das madeiras duras que estavam disponíveis em grandes quantidades e representavam um problema florestal pela sua não utilização, para satisfazer seus requerimentos; o reconhecimento do começo de uma inflação nos custos da madeira para polpa havendo necessidade de um aproveitamento mais eficiente da madeira; e a tremenda expansão da indústria de cartões, incluindo o papelão corrugado. O papelão

corrugado de polpas semiquímicas de madeiras duras adaptou-se perfeitamente bem a essas necessidades.

A fabricação de pastas pelos processos semiquímicos se dá em dois estágios. No primeiro estágio, os cavacos são tratados quimicamente de modo a remover parcialmente a lignina. No segundo estágio, os cavacos ligeiramente amolecidos são submetidos a um tratamento mecânico para separação das fibras.

Os processos semiquímicos são intermediários entre os processos químicos e os de alto rendimento, de onde resulta a sua denominação. Em termos de processos, essa denominação não é muito apropriada, pois, são mais mecânicos do que químicos. Entretanto, sob o microscópio, as pastas produzidas por este processo apresentam-se com a aparência mais próxima à das pastas químicas do que a das pastas mecânicas.

O rendimento pode variar de 60 a 85%, dependendo do processo utilizado: soda a quente, soda a frio, sulfito neutro, etc. A tabela 4.03 mostra mais detalhes destes processos.

Tipo de pasta	Designação consagrada	Características do processo	Rendimento
Pasta semiquímica soda a frio	Cold soda	Desfibramento sob pressão atmosférica de cavacos tratados com licor de hidróxido de sódio.	60 a 85%
Pasta semiquímica sulfito neutro	Neutral sulfite semimechanical pulp (NSSC)	Cavacos são aquecidos com vapor à pressão atmosférica, sulfito e carbonato de sódio a um pH entre 8 e 9, e cozidos em fase vapor a temperatura entre 160 e 180°C por 15 a 60 min.	65 a 85%
Pasta semiquímica soda a quente	Soda pulp	Resíduos agrícolas são aquecidos com vapor à pressão atmosférica, impregnados com solução de hidróxido de sódio de 8 a 10% e cozidos em fase vapor a temperatura entre 160 e 180°C por 15 min ou mais.	54 a 60%

Tabela 4.03 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)/ABTCP

4.2. POLPAÇÃO QUÍMICA

Como foi apresentada anteriormente, a polpação química envolve os processos ácidos e alcalinos. Destes processos, será exclusivamente o processo “kraft” ou sulfato, por ser o mais usado.

4.2.1. Processo sulfato ou “kraft”

Historicamente, o cozimento alcalino iniciou em 1.854, através do processo soda. Em 1.884, foi patenteado o processo “kraft” que, nada mais é do que uma modificação no processo soda, utilizado comercialmente pela primeira vez em 1.885 na Suécia, tomando impulso a partir de 1.930 e predominando no mercado até os dias atuais. Os dois processos

são similares, diferindo na aplicação do sulfato de sódio no processo “kraft” ou sulfato, ao invés de carbonato de sódio no processo soda, para cobrir as perdas do ciclo de recuperação dos reagentes do cozimento. A palavra “kraft” é de origem sueca e alemã que significa “força” (resistência).

O processo “kraft” consiste, então, em atuar sobre a madeira na forma de cavacos com uma combinação de dois reagentes químicos hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), obtendo-se como resultado a dissolução da lignina e a liberação das fibras. As fibras liberadas constituem a “celulose” (ou massa; ou pasta; ou polpa) marrom.

O processo pode ser exemplificado de maneira simplificada através da equação:

Madeira (fibras + lignina) + reagentes químicos = “celulose” + lignina solúvel

Utilizando-se a terminologia de uso corrente na indústria, a equação acima fica:

Madeira + licor branco (NaOH + Na₂S) = “celulose” + licor negro

No processo “kraft” a presença de sulfetos no álcali acelera a deslignificação, produzindo uma pasta de melhor qualidade e com menor teor de lignina para um determinado rendimento. Em meio alcalino e temperaturas altas, as ligações carbono-oxigênio na lignina podem ser rompidas, formando fragmentos menores, mais solúveis e mais estáveis à recombinação (condensação).

Já ficou provada a combinação do enxofre com a lignina, porém a exata natureza desta reação e a causa do aumento da velocidade de deslignificação ainda não foram completamente esclarecidas. É atribuído aos íons HS⁻ (formados pela reação do Na₂S com H₂O) no licor “kraft” uma espécie de ação catalisadora. Em uma seqüência cíclica, que começa com sua adição à molécula de lignina, é seguida pelo rompimento destas ligações pelo álcali, regenerando desta forma os íons HS⁻, deixando-os novamente disponíveis para novas reações e, produzindo lignina “kraft” contendo pequenas quantidades de enxofre.

O processo de obtenção de celulose apresenta um sub-produto, denominado “licor negro”, o mesmo contém a parte da madeira dissolvida (lignina), combinada com reagentes químicos utilizados no início do processo. Por razões econômicas e ambientais, é absolutamente necessário o reaproveitamento do licor preto num processo denominado “recuperação de produtos químicos”. A Figura 4.01 mostra em resumo o ciclo de produção do processo “kraft”, com enfoque na recuperação de produtos químicos.

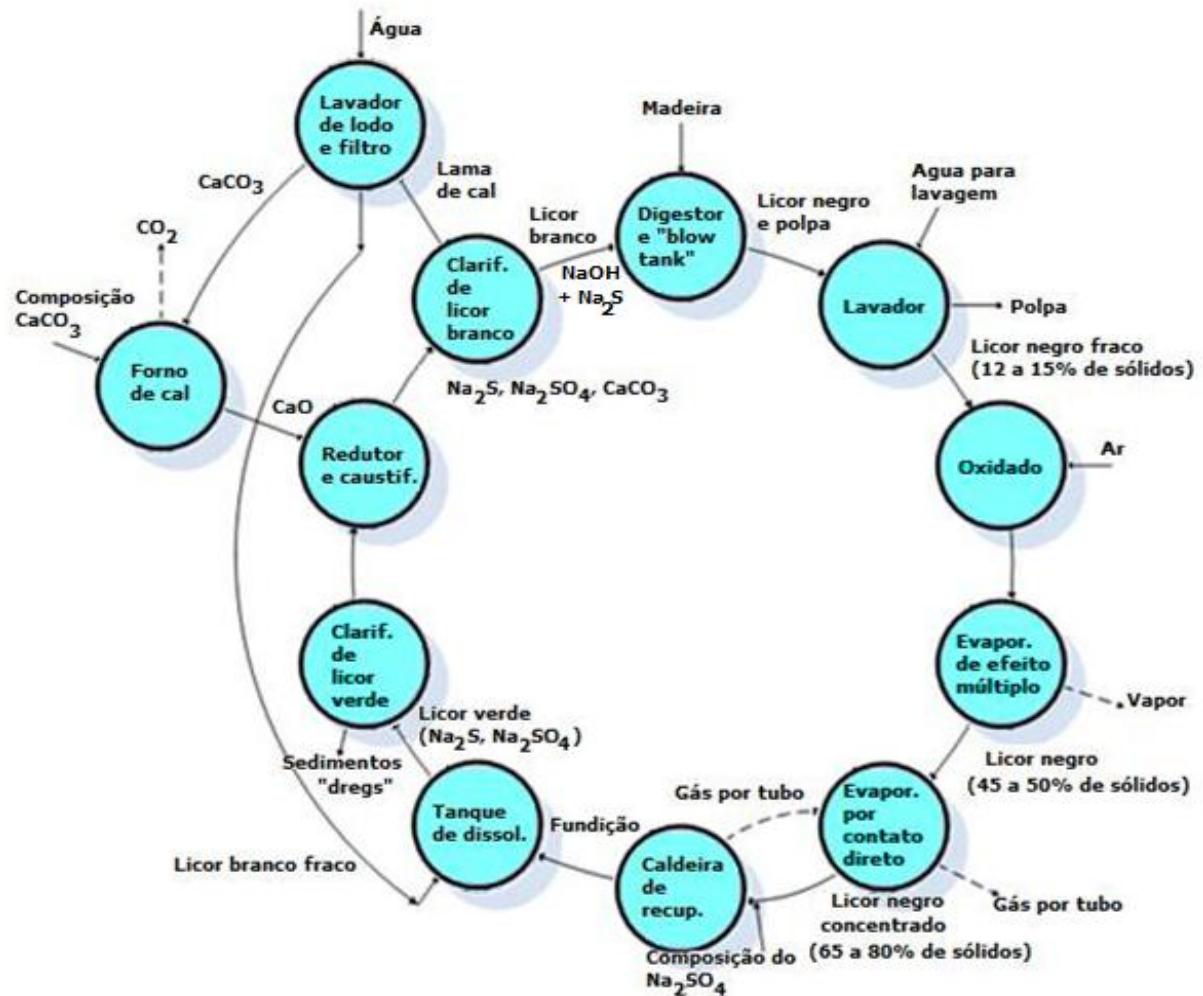


Figura 4.01 (FONTE: <http://www.textoscientificos.com>)

Durante o ciclo de recuperação do processo "kraft", o sulfato de sódio é reduzido a sulfeto de sódio, o qual, juntamente com hidróxido de sódio, constituem os reagentes utilizados no processo "kraft". Todavia, segundo alguns autores, é errado denominar-se de processo sulfato, pois o mesmo não atua como reagente de polpeamento, sendo o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio os responsáveis. Como resultado da queima obtém-se o calor, que gera os vapores e reagentes químicos fundidos. Os fundidos, após a dissolução e um tratamento adequado, transformam-se em licor branco, contendo reagentes químicos idênticos aos utilizados no início do processo.

A recuperação consiste em queimar o licor preto previamente concentrado de 65% a 80% de sólidos e enriquecido em sulfato de sódio Na_2SO_4 . Atualmente, na maioria das empresas não há a adição de Na_2SO_4 , mas a adição de uma diluição de enxofre no licor branco após a caustificação.

As vantagens do processo “kraft” sobre os demais são: flexibilidade a todas as espécies de madeiras, tempos mais curtos de cozimento, a pasta pode ser branqueada a altos níveis de alvura (maior custo em relação às pastas sulfito), não há problemas com resinas (coníferas), produção de pastas de alta resistência, produção de subprodutos valiosos (“tall-oil” e terebintina) e recuperação relativamente fácil dos reagentes utilizados.

Todavia, o processo “kraft” também apresenta certas desvantagens, tais como: alto custo de investimento na montagem da fábrica, problema de mau cheiro dos gases produzidos (H_2S e mercaptanos), baixa alvura após cozimento em relação a outros processos como o sulfito, por exemplo, baixo rendimento (40 a 50%) e alto custo de branqueamento.

Após a lavagem da massa marrom, ocorrem as etapas de pré-branqueamento e branqueamento, onde se faz uso de insumos como oxigênio, ozônio, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro para que possa obter, finalmente, a celulose branqueada (figura 4.03 e 4.03).

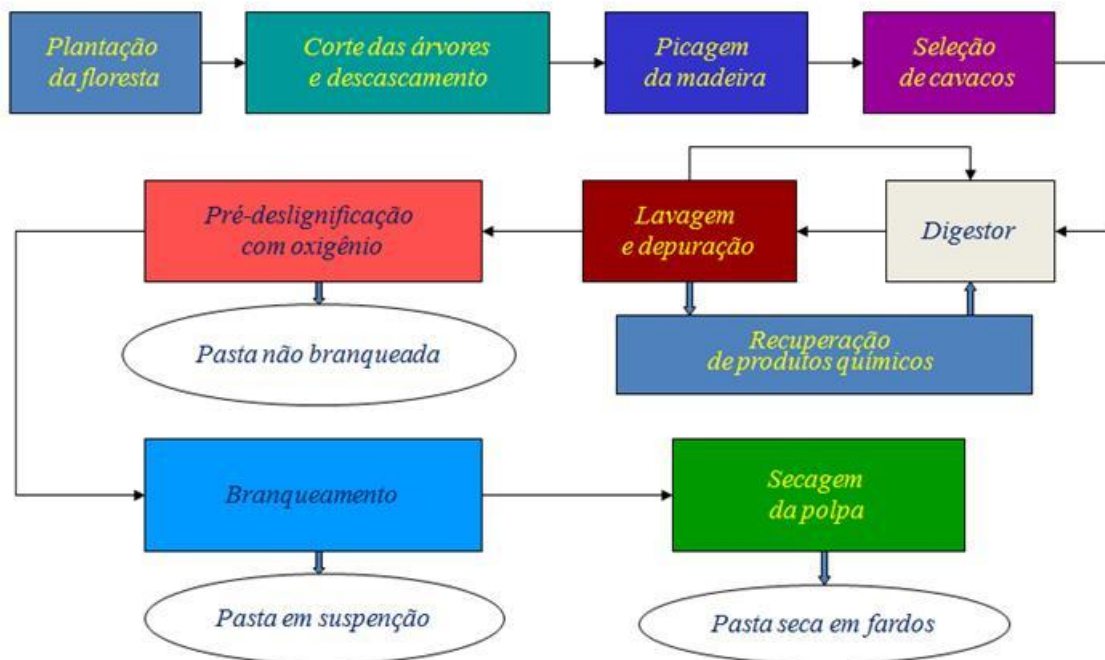


Figura 4.02 (FONTE: montagem elaborada por E.S.Campos – ABTCP)

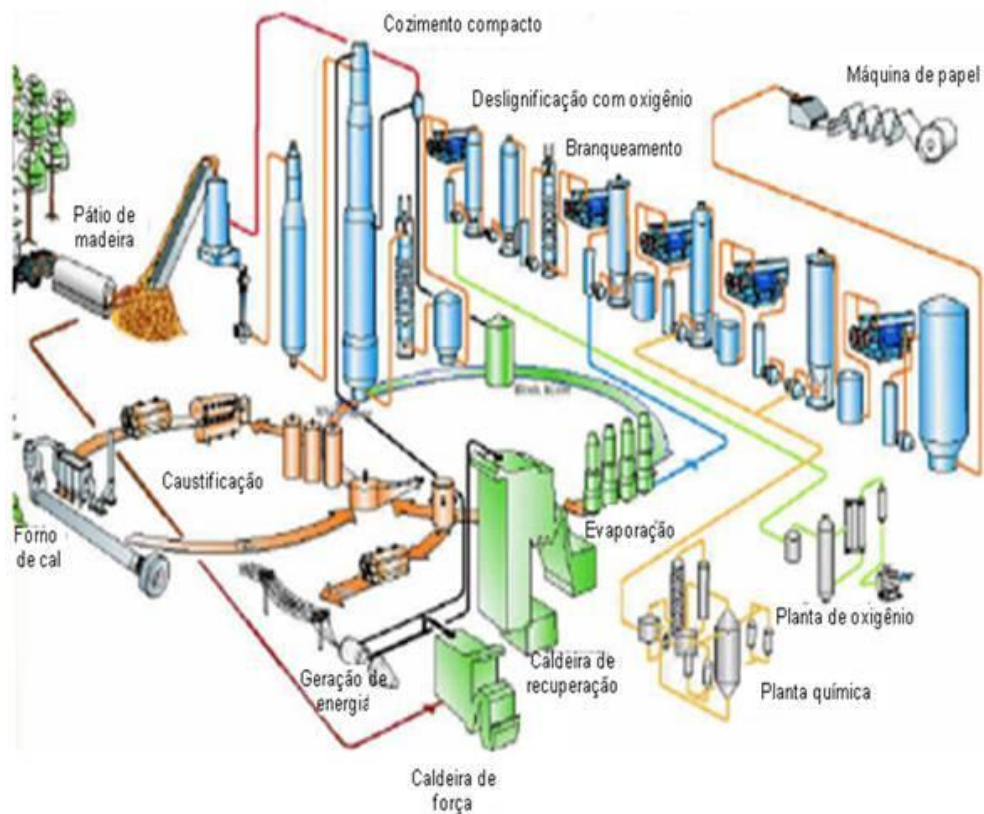


Figura 4.03 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

4.3. FIBRAS RECICLADAS

Fibras recicladas ou fibras secundárias podem ser definidas como qualquer fibra para papel que foram reutilizadas na sua produção. A maior diferença observada entre as fibras virgens e as recicladas é representada pelas baixas propriedades mecânicas obtidas, causadas pela ação mecânica de equipamento, principalmente máquinas refinadoras, e pela ação de químicos. O comprimento das fibras é um fator de muita importância na resistência mecânica. Os tratamentos a que são submetidas durante o processo de fabricação causam o seu encurtamento. O encurtamento, aliado à perda das paredes externas, além de diminuir a resistência à tração diminui também sua plasticidade.

4.3.1. Classificação das aparas

A última classificação de aparas (2007) foi elaborada pela Comissão de Estudos de Aparas de Papel (53 empresas inscritas; 92 profissionais; fabricantes de papel; aparistas, associações, institutos de pesquisas e fabricantes de equipamentos), instalada em 2.005, do CB29 (Comitê Brasileiro de Celulose e Papel), que é responsabilidade da ABTCP e que conta com apoio financeiro da Bracelpa. Como exemplo desta classificação, a tabela 4.04 mostra

alguns tipos de aparas. Para obtenção da norma na sua totalidade, esta deve ser adquirida junto a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

4.3.2. Características mais importantes em cada tipo de aparas

A definição das matérias-primas fibrosas recicláveis utilizadas para a fabricação de papel compreende dois grandes grupos: aparas e papéis usados:

- As aparas (em inglês, “trimmings”), juntamente com materiais refugados e não utilizados, resultam de operação industrial que transforma os papéis e cartões em uma variada gama de artefatos. O grupo é caracterizado como de pré-consumo;
- Já os papéis usados (em inglês, “waste paper”), também designados de papéis velhos, são os diferentes tipos de papéis e artefatos de papel descartados pelos usuários finais, após utilização. O grupo é caracterizado como de pós-consumo.

Cada material classificado como aparas tem uma aplicação específica. As aparas de papel branco, por exemplo, são usadas para papéis sanitários e papéis para impressão e escrita; as aparas de papel “kraft” são usadas para papelão corrugado, tanto capa como miolo e assim por diante.

Material	Descrição	Especificação
Aparas de refile de papelão ondulado	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, resultantes dos processos de produção do papelão ondulado e caixas não utilizadas no mercado, sem cola insolúvel em água e sem grampo, podendo apresentar refile de capa branca.	Teor máximo de umidade: 13% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado I	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada marrom e sem outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, <i>hot melt</i> , grampo e etiquetas provenientes da própria embalagem.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado II	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, com até 5% (em massa) de outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, <i>hot melt</i> , grampo e etiquetas provenientes da própria embalagem, capa branca.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel kraft I	Aparas de papel kraft natural de sacos multifoliados, envelopes, discos e capas de bobinas, sem plastificação, com ou sem costura, com ou sem impressão, limpos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%

Aparas de papel kraft II	Aparas de sacos de papel kraft multifoliados, envelopes, discos e capa de bobinas, com ou sem plastificação e costura, com impressão, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 5% Teor máximo de materiais proibitivos: 3%
Aparas de papel kraft III	Aparas de sacos de papel kraft multifoliados, usados na embalagem de cimento, cal, gesso, argamassa, com ou sem plastificação e costura, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 20% Teor máximo de impurezas: 7% Teor máximo de materiais proibitivos: 5%

Tabela 4.04 (FONTE: ABNT NBR 15483:2007)

4.4. COMPARAÇÃO ENTRE FIBRAS ORIUNDAS DE DIFERENTES PROCESSOS DE OBTENÇÃO

É importante salientar que as diferenças entre propriedades das diferentes fibras para mais ou para menos, não as tornam de melhor ou menor qualidade, uma vez que cada uma delas tem sua própria adequação ao uso.

Com relação às propriedades de resistência, as fibras obtidas pelos processos químicos e semiquímicos produzem papéis de maior resistência em relação às fibras de alto rendimento e recicladas. No entanto, as fibras de alto rendimento e recicladas apresentam, normalmente, preço menor de mercado, o que representa economia para o fabricante de papel.

Com relação às propriedades óticas, as fibras químicas possuem níveis de alvura maior do que as fibras de alto rendimento; as fibras recicladas podem chegar aos níveis próximos das fibras químicas e semiquímicas, dependendo de sua classificação e processos de melhoramento (depuração, destintamento, branqueamento etc.). A reversão de alvura é maior no caso das fibras de alto rendimento pela quantidade de lignina residual presente nestas fibras; entretanto, produzem papéis de mais alta opacidade pelo mesmo motivo da reversão de alvura. As fibras de alto rendimento ainda podem produzir papéis com maior “bulk” do que os outros tipos de fibras.

Já as fibras recicladas são responsáveis pela: preservação de recursos naturais, proteção ao meio ambiente, redução do desperdício, economia de energia, maior facilidade para o fechamento de circuito de água (efluente zero) e despoluição. As desvantagens no uso das fibras recicladas são: alto teor de cinzas, “stickies”, contaminantes, *vida das vestimentas*, consumo de energia, consumo de água, controle de efluentes e fornecimento.

5. DESAGREGAÇÃO DA MASSA E SEUS PERIFÉRICOS

5.1. DESAGREGAÇÃO DE FIBRAS VIRGENS

A chegada das fibras na preparação de massa pode ser realizada de várias formas: por tubulações como suspensão cuja consistência pode variar de 3 a 6%, quando a fábrica é integrada com o processo de fabricação de celulose; em folhas ou rolos oriundos de uma secadora de celulose, com umidade em torno de 10%, ou oriundos de uma desaguadora, com umidade em torno de 60%. Para o caso de celulose que é secada pelo sistema “flash dryer”, a celulose vem em blocos compactos de fibras.

Exceto no caso das fábricas integradas, existe a necessidade de formar uma suspensão de fibras em água com a consistência adequada para poder utilizá-la nas etapas posteriores do processo. Isto é obtido através da etapa de desagregação. O desagregador, também chamado de “Hydrapulper” ou simplesmente “Pulper”, é um equipamento semelhante a um liquidificador gigante, cuja estrutura corresponde a um tanque de aço, de ferro fundido, de concreto, ou mesmo, com azulejos. O formato do tanque e seu tamanho são determinados pela capacidade de produção de papel requerida e da consistência de operação.

A figura 5.01 mostra um típico desagregador vertical, onde se pode ver na sua parte inferior, um rotor provido de hélices, que é a peça do equipamento que gera a turbulência necessária para fazer com que as fibras fiquem em suspensão de forma homogênea dentro do tanque. A instalação de aletas ou chicanas na parte inferior do tanque melhora as condições de agitação. Abaixo do rotor, encontra-se a câmara de extração que é coberta por uma placa perfurada, também chamada de placa extratora, que impede a passagem de impurezas de tamanho maior que o diâmetro dos furos e, através da qual, a pasta desagregada é retirada do tanque. Toda a massa ao ser descarregada é forçada pelo rotor a passar através da placa extratora. O desagregador vertical pode ser de processamento por bateladas (periódico) ou contínuo.

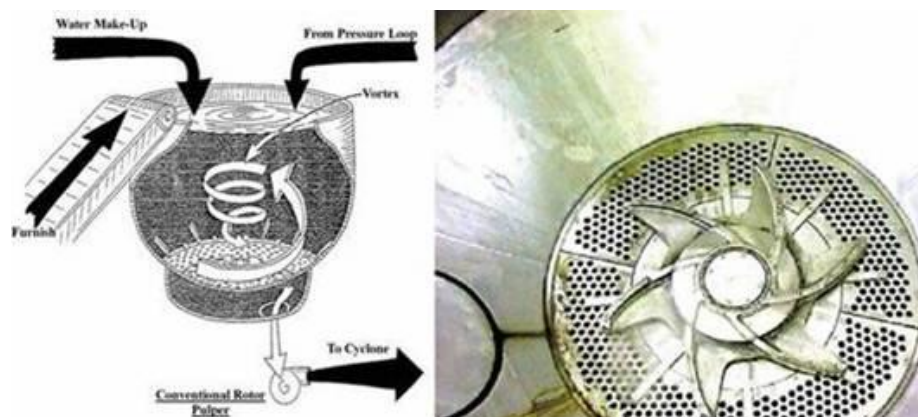


Figura 5.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

5.2. DESAGREGAÇÃO DE FIBRAS RECICLADAS

Para o caso das aparas, o processo de reciclagem começa nos desagregadores, onde são retiradas as impurezas pesadas, tais como arames, pregos, pedras, madeira, barbantes, etc. Os desagregadores podem funcionar com e sem atrito. O segundo efetua a desagregação somente através de forças de cisalhamento e impacto, enquanto que no caso do desagregador com atrito, além das forças do cisalhamento e impacto, há também forças de fricção, pois o rotor do desagregador gira próximo ao um disco ou a uma placa estacionária, desfazendo assim, os aglomerados de fibras. Os dois tipos de desagregadores funcionam em sistemas de batelada ou contínuo. No sistema contínuo a velocidade de alimentação de fardos de polpa deve controlada proporcionalmente com a entrada de água de diluição e a descarga deve ser feita em tanques com capacidades de pelos menos uma hora.

Para um mesmo tamanho, os desagregadores contínuos têm capacidade maior que os de batelada, pois não há perda de tempo no carregamento; a retirada contínua de fibras serve para classificar a massa, removendo o material desagregado e alguns pequenos aglomerados de fibras, enquanto que a parte não desagregada de massa permanece no equipamento.

Os desagregadores de batelada são usados, geralmente, quando se requer elevada limpeza e isenção de impurezas, como adesivo “hot melt”, látex e plásticos. Com desagregadores de batelada é possível selecionar o material desagregado antes de lançá-lo no sistema e, se necessário, desprezar uma batelada fortemente contaminada.

Os papéis que sofrerão destintamento requerem desagregadores do tipo sem atrito, porque têm menor tendência a moer as partículas de tinta e reduzir o tamanho das impurezas plásticas. Desagregadores de papelão ondulado, jornais e papéis velhos operam com grande quantidade de impurezas, por isso geralmente são contínuos, e funcionam em baixa consistência. Outros tipos de aparas permitem usar qualquer tipo de desagregador, dependendo do material a ser desagregado. Se este for de fácil desagregação, recomenda-se um desagregador sem atrito; caso contrário, o desagregador com atrito. Na figura 5.02 aparecem alguns desagregadores Kandant CBTI.

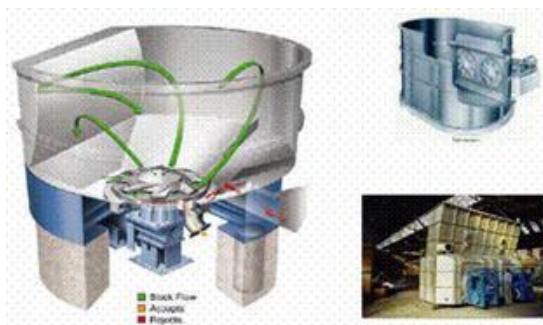


Figura 5.02 (FONTE: Apresentação

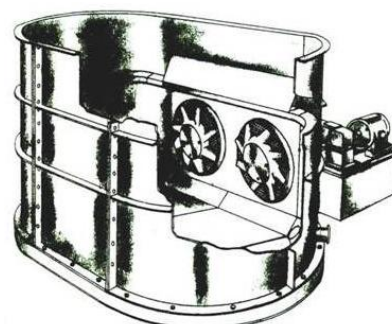


Figura 5.03 (FONTE: Apostila “Curso básico

ABTCP/CBTI)

de fabricação de papel” – ABTCP)

O desagregador conhecido como “Sydrapulper”, que aparece na figura 5.03, também pode ser de processamento periódico ou contínuo, e seu sistema de trabalho é idêntico ao do Hidrapulper. Este equipamento desfibra de maneira eficiente papéis que são resultantes de quebras ou aparas, possibilitando seu posterior bombeamento. Normalmente, esse tipo de desagregador é utilizado no porão da máquina de papel ou em locais onde o espaço não permita o uso de desagregadores ou repolpeadores convencionais.

A retirada da massa desagregada é realizada através de um tubo de saída, processada através da válvula de descarga pneumática. O desagregador é alimentado através de uma esteira transportadora. A água fresca é introduzida por uma válvula de alimentação e a água clarificada é alimentada por outra válvula.

O funcionamento do desagregador se processa com a adição de água até mais ou menos 50% de sua capacidade, seguida de seu movimento. A seqüência de adição das matérias primas é normalmente feita de acordo com a receita de fabricação. Em geral, para quem trabalha principalmente com reciclados, aconselha-se a adição de álcali. Os fardos são colocados no interior do desagregador e são rompidos sob os efeitos dos golpes das pás do rotor, iniciando o processo de trituração. O rotor produz efeitos mecânicos que dissolvem a matéria prima, umedecendo-a, cortando-a e afrouxando suas ligações fibrosas, resultando em uma suspensão fibrosa fluida que pode ser bombeada para as etapas posteriores.

Após a colocação das matérias primas, deve-se acertar a consistência final e o pH, conforme as recomendações do controle de processos. Qualquer anormalidade que ocorra no setor de desagregação irá influenciar diretamente na eficiência dos equipamentos posteriores, na máquina de papel e no produto final.

Ao desagregador não cabe homogeneizar a massa. Seu funcionamento econômico vai até quando se obtém uma massa com, aproximadamente, 30% de pastilhas ou pequenos aglomerados, que seguirão no processo e serão tratados imediatamente.

Os desagregadores com rotor helicoidal (figura 5.04) que operam de forma descontínua com alta consistência (12 a 18%) foram desenvolvidos no fim dos anos 1970 e desde então, têm cumprido um papel importante na desagregação eficiente sem a necessidade de se reduzir o tamanho das impurezas. Estes desagregadores são empregados especialmente no processamento de aparas de papéis revestidos e com resistência a úmido.

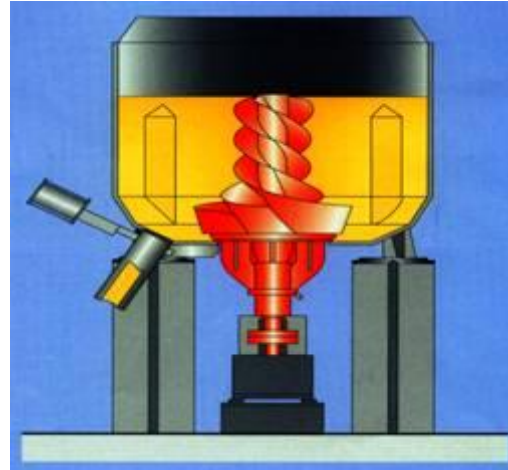


Figura 5.04 (FONTE: Preparação de Massa – SENAI CETCEP)

Um rotor helicoidal é feito de maneira a gerar um fluxo vertical descendente até o fundo do tanque e, secundariamente, uma movimentação no sentido horizontal. O tempo de desagregação é aproximadamente o mesmo comparado com desagregadores verticais convencionais.

Este tipo de desagregador possui algumas vantagens quando comparados com desagregadores convencionais:

- Economia de até 20% de energia, para qualquer tipo de aparas;
- Desagrega de forma mais suave, pois promove o atrito fibra-fibra, que possibilita uma melhor separação de tintas das fibras;
- Desagrega materiais de difícil desagregação como materiais revestidos por plásticos e papéis resistentes a úmido (Exemplo: embalagens cartonadas);
- Economiza produtos químicos e vapor no caso da desagregação de aparas resistentes a úmido ou em instalações de destintamento, corte reduzido de materiais estranhos.

A desagregação em altas consistências proporciona um baixo consumo de energia específica, principalmente para altos níveis de desagregação de matéria-prima de difícil desagregação. Além disso, a quantidade de massa tratada por volume é alta, ou seja, pouco espaço específico. O método permite um alto grau de remoção de impurezas, devido ao baixo nível de redução das impurezas durante a desagregação.

O consumo de vapor com altas temperaturas durante a desagregação em altas consistências também é menor e a ação de químicos, tanto para auxiliar no destintamento como para diminuir resistência a úmido de papéis, é mais eficiente.

5.3. DESPASTILHADORES

A existência de pastilhas ou aglomerados de fibras representa um problema para a pasta semipreparada, levando em conta sua posterior utilização na máquina de papel. Para que estas pastilhas sejam desagregadas com reduzido corte de fibras e sob condições energéticas de ótima rentabilidade utiliza-se o despastilhador ou “deflaker”. Também chamado de pré-refinador.

A aplicação do despastilhador na fabricação de papel e celulose é indicada para: despastilhar pastas fibrosas; separar partículas entranhas às fibras, especialmente no tratamento de aparas; desintegrar recortes; tratar refugos de depuradores na preparação de aparas e triturar plantas anuais depois do cozimento.

No despastilhador, o efeito de separação das fibras se faz pelas forças mecânicas de choque e pelas altas forças de fricção ou atrito que são produzidas pela grande diferença de velocidade entre o rotor e o estator, as quais causam uma redução das uniões entre fibras e, conseqüentemente, sua separação. A figura 5.05 mostra um despastilhador aberto. As guarnições do despastilhador são mostradas na figura 5.06.

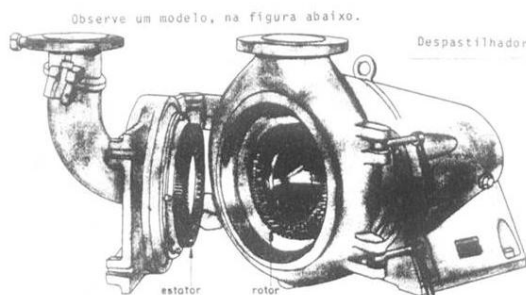


Figura 5.05 (FONTE: Apostila SENAI-CETCEP Preparação de massa)



Figura 5.06 (FONTE: Apostila SENAI-CETCEP Preparação de massa)

6. DEPURAÇÃO DE FIBRAS VIRGENS E RECICLADAS

6.1. INTRODUÇÃO

A qualidade do papel a ser produzido depende fortemente do grau de limpeza da massa. As astilhas, nós, areia, partículas metálicas etc. causam danos à máquina de papel, desgaste de equipamentos, problemas na secagem e consumo adicional de vapor. Depuração é o nome que se dá a operação de limpeza da mistura de celulose com os demais componentes da receita. *Deve-se ter sempre em mente que o maior desafio da depuração é fazer com que o “aceito” tenha menos “rejeito” e o “rejeito” tenha menos “aceito”* (figura 6.01).

A depuração destina-se a retirar sujeiras e outros corpos estranhos, que são indesejáveis para a aparência e finalidade da folha de papel. A qualidade do papel depende fortemente do grau de limpeza de massa. As impurezas podem vir de várias fontes: da matéria prima fibrosa, papéis reciclados, impurezas introduzidas durante o transporte, produtos químicos, proveniente de equipamentos, água, processo de fabricação, etc. Podemos classificar em quatro tipos de contaminações:

- Contaminações da massa (exemplos: fibras não branqueadas, fibras sem beneficiamento, fibras entrelaçadas);
- Outras contaminações da massa (exemplos: pó das pedras do desfibramento no caso de pasta mecânica);
- Contaminações externas na fábrica de papel (exemplos: sujeiras das embalagens, arame das embalagens);
- Contaminações internas à fábrica (exemplos: ferrugem dos canos, cavacos de madeira, pedaços de concreto, etc.).

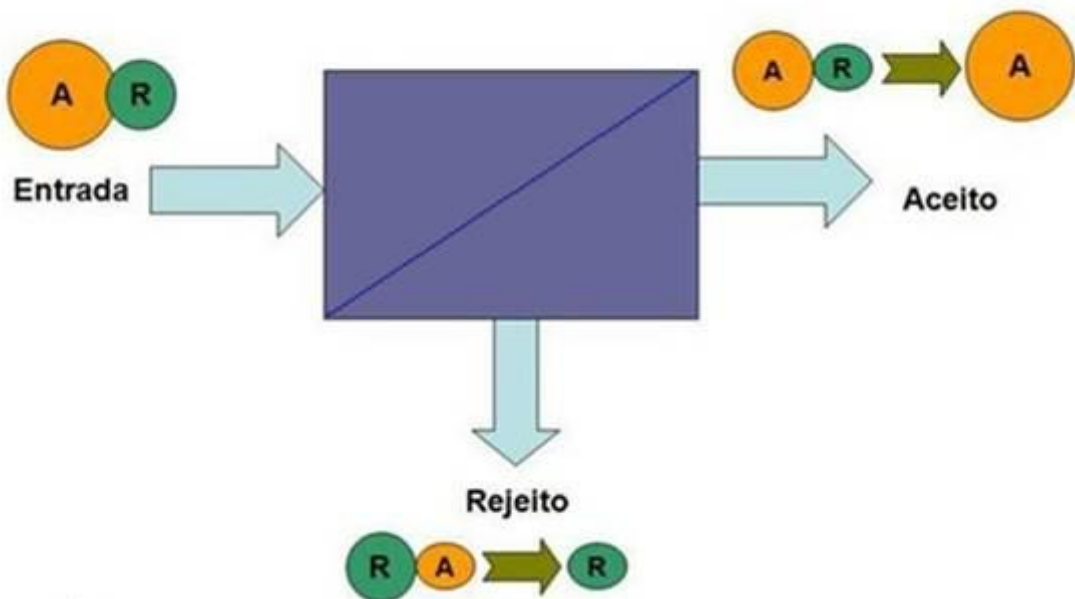


Figura 6.01 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

A eliminação das impurezas é necessária tanto do ponto de vista do papel acabado como do próprio funcionamento do processo. Com relação ao papel, a presença de impurezas afeta as características mecânicas (a impureza é um ponto débil) e ao aspecto exterior (alvura, presença de pastilhas). Com relação à fabricação, a presença de impurezas volumosas ou gelatinosas pode causar perfurações e quebras no papel na saída da máquina, na seção de prensas e na seção de secagem. Os motivos pelos quais as impurezas são removidas nos

processos de fabricação de papel, bem como a eficiência de depuração, dependem de cada processo. No caso de papéis “kraft”, por exemplo, a necessidade de depuração é mínima, enquanto que para a fabricação de papéis finos, tem uma importância vital.

As impurezas podem ser classificadas em três categorias: sujeiras pesadas e volumosas, sujeiras pesadas e finas, e sujeiras leves. Os sistemas de depuração mais conhecidos são: peneiramento ou “screen” (plana, rotativa e pressurizada – depurador vertical), centrifugação (“cleaner”) – depurador centrífugo.

No caso do peneiramento (depuração probabilística), é estabelecida a relação dos componentes da massa, essencialmente, em função do tamanho e formato. A classificação é feita por: diafragma ou tela plana, cilindro com alimentação externa, cilindro com alimentação interna, cilindros pressurizados.

No caso dos depuradores centrífugos a separação é feita em função da densidade. A classificação é feita por: separadores de areia, cestas rotativas, cilindros e ciclones. O custo de acionamento, capital disponível, facilidade de operação e manutenção entre outros fatores determinam, para cada situação em particular, a escolha do equipamento a ser utilizado, uma vez que há uma quantidade e variedade de diferentes princípios de funcionamento.

6.2. DEPURADORES PROBABILÍSTICOS

Estes equipamentos separam as impurezas tanto pelo tamanho como pelas formas das partículas, a este tipo pertencem as partículas de rejeito sem forma definida e de tamanho grande, que podem ser removidas da polpa pelo efeito de peneiramento ao passar o líquido com suspensão de fibras através de uma chapa perfurada com furos arredondados ou ranhuras (figura 6.02).

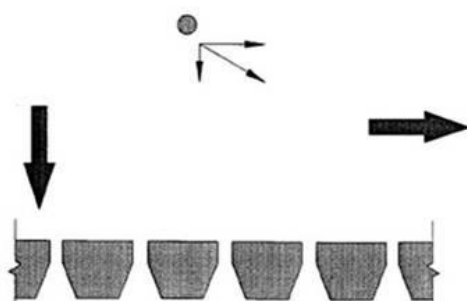


Figura 6.02 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

O depurador probabilístico típico é uma máquina de funcionamento relativamente simples. Os problemas de funcionamento são normalmente devidos à carga de alimentação estar acima ou abaixo das especificações do equipamento.

6.2.1. Mecanismo da depuração probabilística

Pode-se dizer que entender os mecanismos de separação durante a depuração é uma ferramenta muito útil no entendimento das operações dos depuradores. Há três velocidades principais dentro do cesto, excluindo as velocidades associadas com a turbulência local. Estes componentes são as velocidades: radial, axial e tangencial, as quais em relação ao cesto produzem forças que vão determinar o grau de separação de rejeitos.

A velocidade axial é aquela que está na direção do eixo de rotação do cesto e paralela ao cesto perfurado. Nota-se que a velocidade axial depende do espaço entre o cesto e o corpo do rotor e também do volume de fluxo.

A velocidade radial depende da área total aberta das ranhuras ou furos e do fluxo de aceite. A velocidade tangencial é aquela devido a rotação da polpa em torno do eixo do cesto, ela é paralela à superfície perfurada e perpendicular às velocidades radial e axial. Diz-se que a velocidade relacionada à passagem de polpa através das aberturas é denominada velocidade transversal. Observa-se que o mecanismo de depuração é influenciado diretamente pela velocidade transversal da polpa mais próxima ao cesto.

6.2.2. Depuração por peneiramento

O tamanho dos orifícios das peneiras representa o fator fundamental do peneiramento. A situação ideal será a escolha de orifícios que selecionem impurezas de tamanhos inferiores aos aceites pela máquina de papel e produto acabado. Mesmo mantendo constante a área aberta da peneira, uma redução no diâmetro dos orifícios produz rápida queda de vazão da peneira, devido à tendência de entupimento dos orifícios pela retenção de impurezas e fibras entrelaçadas. A vibração reduz esta tendência, o que justifica a utilização de peneiras vibratórias.

A redução dos orifícios resulta em aumento da quantidade de rejeitos. Para que haja equilíbrio deste efeito é necessário aumentar a vibração ou, em sistemas pressurizados, a pressão de recalque. O diâmetro dos orifícios deverá ser definido de maneira a atender aos seguintes requisitos:

- Minimizar a rejeição de fibras boas;
- Impedir a passagem de uma grande quantidade de impurezas;
- Evitar perda de carga exagerada;
- Dispensar forte vibração da tela, para não haver aumento do consumo de energia.

As peneiras podem ser: planas (ou de diafragma), rotativas e pressurizadas.

6.2.2.1. Peneiras planas ou vibratórias

As peneiras planas ou vibratórias são utilizadas para a classificação de toda classe de massa fibrosa e podem ser utilizadas para classificação em baixa e alta consistência de massa. Quando operam em alta consistência, eliminam grandes impurezas tais como: partículas de madeiras, material sintético e metal; em baixa consistência localiza-se próxima ao depurador vertical, e normalmente recebe seu rejeito.

Este tipo de peneira assemelha-se a uma caixa que contém uma placa ranhurada ou perfurada, colocada na posição horizontal ou levemente inclinada. Abaixo da placa existe dispositivo que transmite movimento vibratório à placa, que geralmente é em diafragma acionado por um mecanismo excêntrico. A vibração desfaz o colchão de massa e evita o entupimento das aberturas.

O funcionamento deste tipo de peneira pode ser visto na figura 6.03, abaixo: pelo movimento vibratório a massa é conduzida através de um funil de entrada até a superfície da chapa de peneiramento. A massa, então, passa pela furação da peneira, e o rejeito sai pela parte posterior, onde se encontra um chuveiro de dispersão, para evitar que fibras sejam levadas juntamente com os rejeitos.

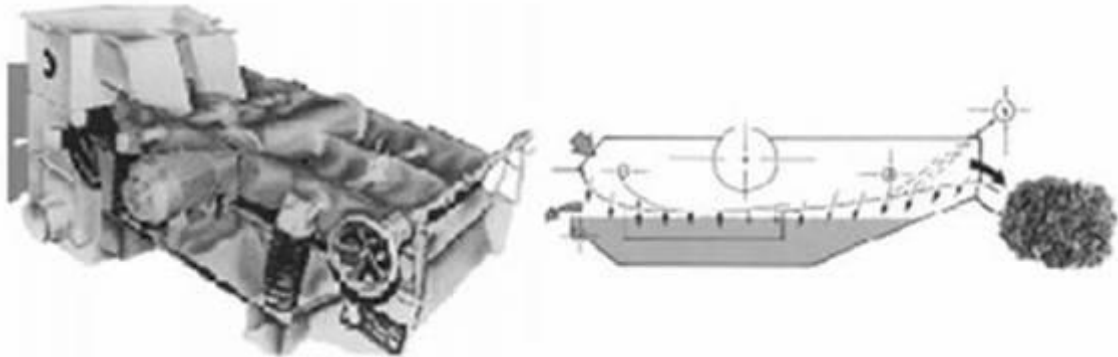


Figura 6.03 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.2.2.2. Peneiras rotativas

As peneiras rotativas são usadas na fase primária e secundária, e consistem de cilindro de paredes perfuradas (figura 6.04), contra as quais a suspensão de fibras é impelida pela ação centrífuga, gerada

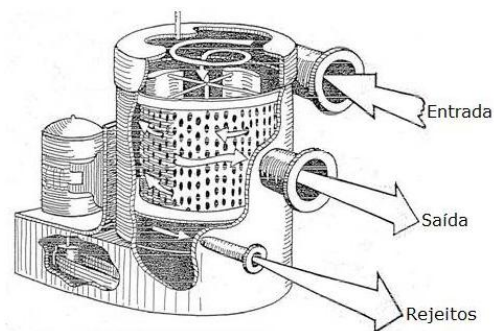


Figura 6.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de

pelo movimento de rotação do próprio cilindro ou de um rotor. fabricação de papel” – ABTCP)

De acordo com o escoamento da suspensão fibrosa em relação ao cilindro perfurado pode ser de fluxo para fora do cilindro (“outward flow screen”) ou de fluxo para dentro do cilindro (“inward flow screen”).

Em peneiras rotativas centrífugas geralmente placas de furos redondos são mais eficientes para reter estilhas longas e delgadas e partículas delgadas e planas. As placas ranhuradas separam materiais esféricos ou cúbicos. Havendo duas peneiras do mesmo tamanho, aquela, com furos redondos, possui maior capacidade que placas ranhuradas porque na primeira a área aberta é muito maior e pode processar massas de consistência mais elevada, com menor possibilidade de entupimento.

6.2.2.3. *Depuradores de baixa pressão (peneiras pressurizadas)*

Estes depuradores probabilísticos têm a superfície da peneira situada no interior de uma carcaça, trabalhando completamente cheios de suspensão fibrosa para evitar o contato desta com o ar. A circulação da pasta a depurar torna-se possível pela diferença de pressão existente entre a alimentação e a saída do aceite, de onde vem sua denominação.

Existem diversas configurações, porém o princípio de funcionamento é o seguinte: a suspensão fibrosa a depurar chega a uma câmara cujas paredes é constituída pela peneira; a fração fina atravessa as aberturas da peneira, enquanto que o rejeito se acumula na zona inferior da câmara de entrada de onde é “evacuado” de uma forma contínua ou intermitente. A figura 6.05 mostra as peneiras com furos e ranhuradas, respectivamente.



Figura 6.05 (FONTE: apostilas ABTCP)

No interior do equipamento existem, existem hastes móveis que se deslocam paralelamente à peneira e muito proximamente à mesma com o objetivo de produzir pequenas pulsações de pressão que evitem o comprometimento das performances e a floculação da pasta. Outro efeito produzido por estas partes internas é de melhorar a depuração; com efeito, devido a que a velocidade das pás (10 a 15 m/s) é da ordem de dez vezes superior à velocidade da pasta, esta chega à superfície da peneira com uma trajetória fortemente inclinada (6.06), pelo que as dimensões aparentes das perfurações ficam reduzidas.

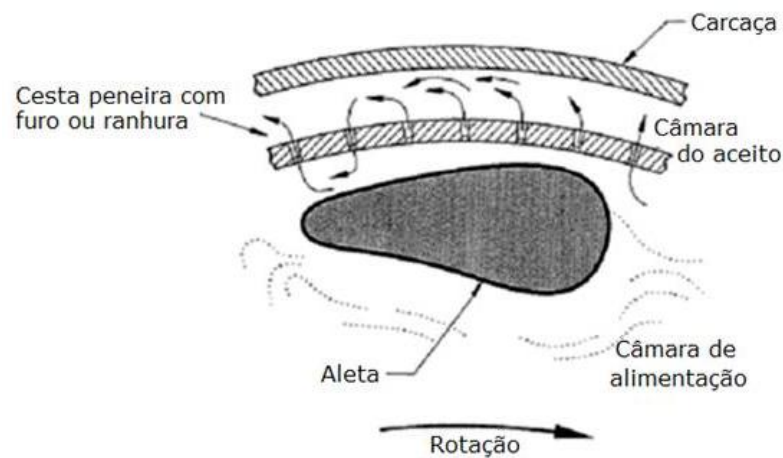


Figura 6.06 (FONTE: apostilas ABTCP)

As configurações mais clássicas dos depuradores de baixa pressão não permitiam superar valores de concentrações superiores a 2% de consistência, ainda que na atualidade existam configurações específicas para trabalhar a consistência até 4%, o que permite sua utilização em preparação de pastas sem a necessidade de incorporar uma diluição prévia e uma etapa de engrossamento posterior.

6.3. DEPURAÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO

Os depuradores centrífugos são cones, nos quais a suspensão de fibras entra tangencialmente e por diferença de pressão de entrada e saída, provoca um movimento de rotação interno (vórtice), gerando uma força centrífuga que separa por diferença de densidade todas as impurezas ou contaminantes mais pesados que as fibras. A alta eficiência do equipamento é conseguida quando a operação é realizada corretamente, ou seja, para cada tipo de material (fibroso), da natureza e do tratamento das sujeiras, será ajustada a consistência ideal e o diferencial de pressão correto.

O funcionamento dos depuradores centrífugos é baseado na diferença de massa específica das fibras e impurezas que serão separadas pela ação da força centrífuga. A suspensão fibrosa contendo sujeiras é introduzida tangencialmente na parte superior do aparelho, o qual tem uma forma de um longo cone invertido. Imediatamente, a massa desenvolve um movimento de rotação e assim, penetrando na parte cônica, as partículas descem com uma trajetória espiralada em direção ao vértice e rapidamente adquirem aceleração uniforme. Em seu desenvolvimento, um desenho de separador centrífugo é determinado considerando o fluxo com o respectivo diferencial de pressão em relação à eficiência de separação, ou seja, por razões óbvias procura-se a melhor eficiência com o menor diferencial de pressão.

A força centrífuga, sob a qual as partículas mais pesadas mantêm-se junto à parede do aparelho, aumenta muito na zona próxima do vértice do cone.

À medida que o fluído se aproxima do vértice, o espaço torna-se grandemente menor e a parte da suspensão mais afastada da parede reverte à direção do fluxo.

O material em suspensão ascende em uma espiral em torno do eixo vertical do cone e é retirado como aceite na parte superior.

O material pesado, que se concentra junto à parede, acompanha uma trajetória espiralada descendente até atingir o vértice do cone, de onde é recolhido como rejeito (figura 6.08).

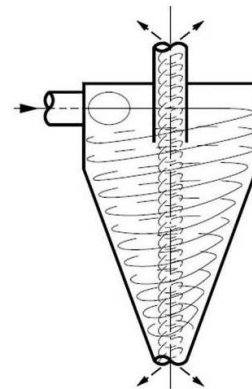


Figura 6.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.3.1. Separadores de massa grossa

Os separadores de massa grossa (“coarse cleaner”) são usados para separar grande quantidade de impurezas e materiais abrasivos presentes na massa, tais como parafusos, grampos, pedras, pregos, etc. Essas impurezas devem ser removidas, sempre que possível, para prevenir danos ou desgaste prematuro nos equipamentos posteriores ao processo tais como peneiras, despastilhadores, refinadores, etc. Esse equipamento não remove impurezas muito finas, havendo, portanto, a necessidade de outros equipamentos depuradores após estes separadores. Normalmente trabalham com consistência entre 3 e 6 %, mas pode haver casos em que a consistência varia de 1 a 2 %.

O princípio de funcionamento é semelhante ao de um “cleaner” convencional, pois para remover a maior parte de impurezas como pedras e metais, forças centrífugas devem predominar. As impurezas de alto peso específico descem pelo cone para o depósito de rejeitos. O depósito de rejeitos recebe água de lavagem pela válvula que regula o fluxo, evitando assim sedimentação de fibras no depósito (figura 6.09).

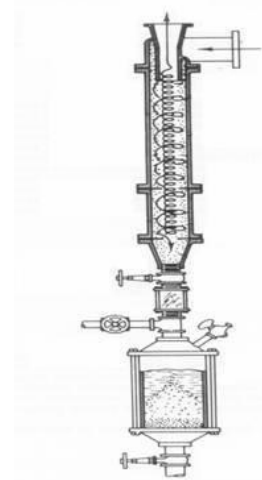


Figura 6.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.3.2. “Centercleaners” ou “hidrociclones”

São utilizados principalmente para retirar pequenas partículas de sujeira de elevada massa específica da massa, cuja remoção seria muito difícil ou impossível, somente com o emprego de peneira.

Com “hidrociclones” pode-se conseguir uma separação adequada de sujeiras, mas a quantidade de fibras arrastada juntamente com os rejeitos é da ordem de 5 a 10% da massa alimentada, o que representa perda excessiva. Por esta razão eles são utilizados em baterias de 2 a 4 estágios, com muitas variações na reciclagem das massas rejeitadas, afim de minimizar a perda de fibras. Geralmente o arranjo dos fluxos é feito em seqüência, e de tal maneira que o aceite de um ciclone alimenta o ciclone anterior, isto é, fluxo em contracorrente. O rejeito é diluído e encaminhado para o ciclone subsequente.

Devido sua pequena capacidade individual, os ciclones são montados em grupos e alimentados por uma linha comum, e os aceites coletados em uma mesma tubulação. Assim cada estágio é constituído por uma bateria de ciclones ligados em paralelo (figura 6.10).

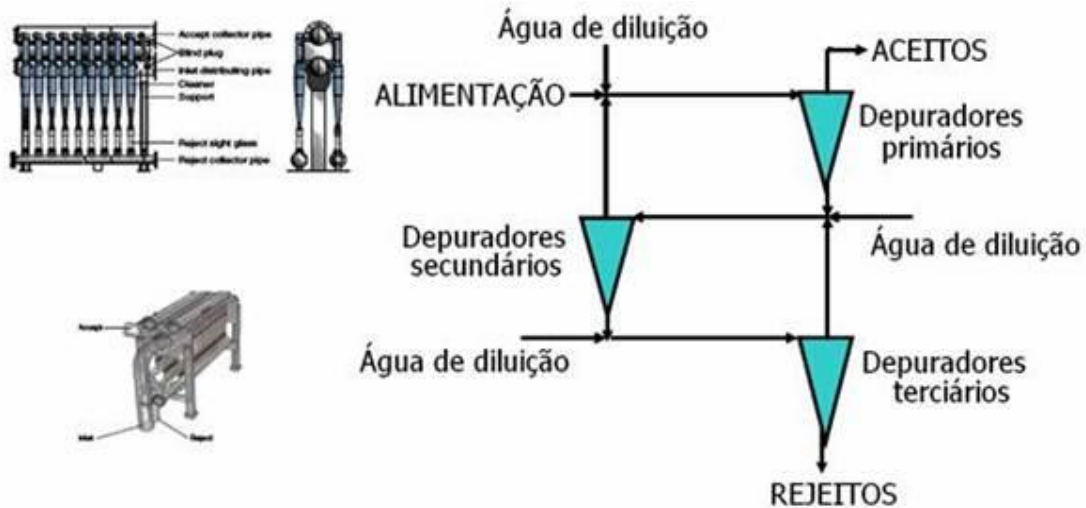


Figura 6.10 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.4. ALGUNS EQUIPAMENTOS ESPECÍFICOS E PROCESSO DE DEPURAÇÃO PARA APARAS

Ao longo do tempo e principalmente após os anos 1.970, a utilização de papel reciclado tem sido incrementada. Este aumento no consumo requer seu uso em papéis que historicamente somente utilizavam fibras virgens. Isto provocou mudanças fundamentais, seja pela maior contaminação no sistema ou pelas diferentes características da matéria rima reciclada. As alterações nas fibras causam impactos no processo de produção e requerem modificações e adaptações no tratamento e utilização desta matéria prima em comparação com a utilização de fibras virgens. O grande problema está na anexação de elementos estranhos à fibra (materiais impróprios: impurezas e proibitivos).

Equipamentos de depuração exigem condições adequadas para o seu funcionamento. Representam investimentos relativamente altos, tanto na implantação como no funcionamento. Pelo tipo de trabalho a que são submetidos, devem ser minuciosamente analisados, a fim de reduzir ao mínimo possível a eliminação de matéria prima, pois além das perdas econômicas, carregariam sobremaneira o tratamento de efluentes, podendo trazer danos ao meio ambiente. Para serem eliminadas, as impurezas devem ser identificadas, conhecidas e analisadas.

6.4.1. Turboseparadores ou “fiberizer”

Os turboseparadores, também chamados de trituradores ou “pulpers” secundários, são normalmente instalados em sistemas que trabalham com materiais reciclados de elevado grau de contaminação. Este equipamento retira impurezas leves e pesadas como mostra a figura 6.11. Possuindo uma entrada de massa na tangencial, o turbo separador trabalha pressurizado, em seu interior existe um rotor que auxilia a ação da força centrífuga, onde o material leve dirige-se para o centro, enquanto o material pesado dirige-se para a lateral do equipamento. O fluxo de aceito passa através de uma placa perfurada com furos de 2,4 a 3,0 mm (depuração probabilística), localizada atrás do rotor. Um conjunto de válvulas atua por temporizador regulado de acordo com a quantidade de impurezas e as descargas de rejeito.



Figura 6.11 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Observação: alguns tipos de rejeitos fiáveis podem obstruir a passagem de peneiramento, aumentando assim a pressão interna e comprometendo as gaxetas de vedação. Quando isto ocorrer pare o equipamento e proceda a limpeza da peneira.

6.4.2. Peneiras inclinadas ou “side hill”

Em peneiras inclinadas a massa é alimentada em uma caixa de entrada que se localiza na parte superior e projetada de forma a derramar um fluxo laminar de massa nas telas, evitando turbulência (figura 6.12). As fibras descem rolando sobre a tela, o que permite que sejam drenadas através da tela, a água junto com fibrilas (fragmentos de fibras), a carga mineral, os produtos solúveis, os produtos coloidais e os produtos químicos. Nesses casos, a consistência inicial encontra-se na faixa de 0,8 a 1,5%. A consistência de descarga varia em torno de 3 a 8%, dependendo de vários fatores.

A peneira inclinada é o único equipamento em que não há formação de camada de fibra sobre a tela, como ocorre em outros lavadores. Quando a massa desliza e rola para baixo sobre a tela, ela constantemente oferece novas oportunidades para a remoção de sólidos suspensos que poderiam ser retidos na manta de fibras. Este é um dos mais importantes objetivos da lavagem de massa.



Figura 6.12 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.4.3. Fracionadores

O fracionamento permite separar frações de fibras longas e de fibras curtas, tornando possível seu uso mais racional, como também separar as fibras da pasta mecânica. A aplicação do fracionamento iniciou-se na separação de fibras longas e curtas, sendo que as primeiras destinavam-se à fabricação de papel capa, e as últimas, à de papel miolo. Este procedimento valoriza as aparas para a fábrica. O fracionamento é geralmente realizado por peneiras pressurizadas ou ciclones separadores.

O fracionamento permite separar a massa em duas ou mais frações, que podem ser refinadas separadamente, até atingir os índices ótimos para cada fração, sendo depois recombinadas ou enviadas a diferentes setores de fabricação. Desta maneira, as características de cada fração são melhoradas, sem danificar as outras frações, pelo excesso de refino, além de reduzir apreciavelmente o consumo de energia.

Este tipo de processamento também está sendo aplicado para a eliminação de finos e de cargas, cuja única contribuição positiva se restringe a um aumento relativo de opacidade da folha, enquanto a drenabilidade da massa e a resistência mecânica do papel são diminuídas. Na figura 6.13 aparece um exemplo de fracionador OptiScreen PS (Metso Paper).



Figura 6.13 (FONTE: Apresentação METSO / ABTCP)

6.4.4. Flotação

O destintamento por flotação é feito em um reservatório que faz a dosagem correta do fluxo de massa e o controle das bolhas de ar, tanto em quantidade quanto em tamanho, para permitir a retirada de partículas de tinta do sistema através da geração controlada de espuma.

Para permitir que estas partículas de tintas sejam agregadas e arrastadas pelas bolhas de ar, faz-se necessário que sua composição química final seja hidrófoba (repelente à água) em pelo menos uma parte de sua estrutura química, pois as fibras de celulose são hidrófilas e estão junto com as tintas de forma homogênea. Neste caso todo o fluxo de massa deve sofrer as seguintes etapas:

- Os ligantes, quaisquer que sejam, devem ser neutralizados;
- As partículas de tintas devem estar separadas das fibras;
- Os reagentes químicos devem tornar hidrófobas as partículas de tinta.

A partir das condições acima o fluxo de massa está apto a ser destintado pelo método de flotação, e pode ser processado nas chamadas células de flotação. É lógico que, ao misturar ar ao fluxo de massa, a criação de espuma é inevitável e desejável, porém esta deve ser bem controlada e minimizada, trabalhando com a característica da água a ser utilizada ou no dito popular, endurecendo a água através de minerais.

Como todo o sistema preparado e controlado em condições ideais, teremos toda a tinta sendo eliminada pela célula de flotação em sua parte superior com a eliminação de espuma e as fibras seguem o sistema em condições de serem reaproveitadas.

Estas impurezas são eliminadas com a espuma a uma consistência de aproximadamente 2 a 3%, devendo ser engrossados e concentrados para serem retiradas do processo.

Após um tratamento eficiente, a água recuperada deve retornar sempre para o tratamento de aparas e nunca deve ser enviada à máquina de papel para não influir na produção da máquina e por já ter características convenientes ao tratamento de aparas. A figura 6.14 apresenta um diagrama esquemático do flotador Thermo Black Clawson.

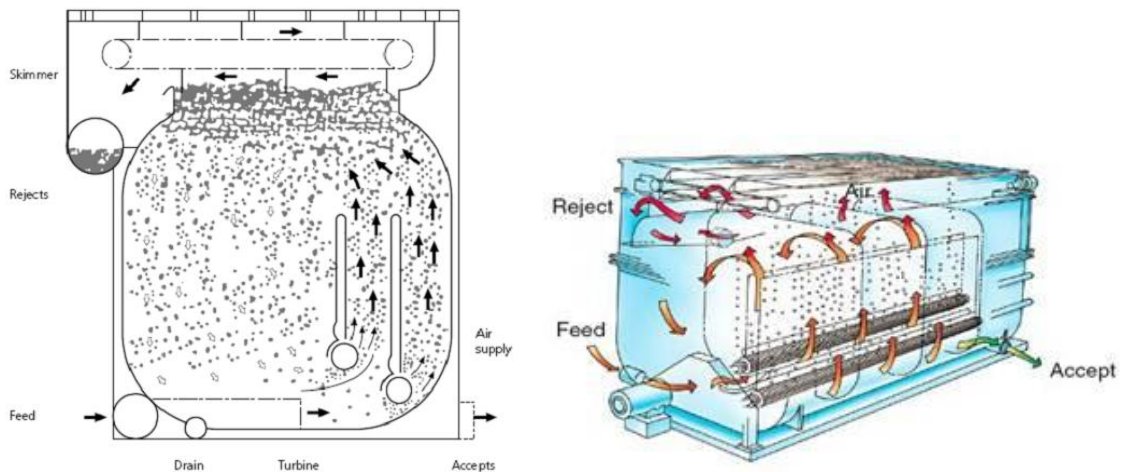


Figura 6.14 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.4.5. Lavagem

O destintamento por lavagem é feito através de máquinas ou equipamentos, onde se tenta a troca total da água que vem da planta de aparas com diferentes reagentes e tintas. Para permitir que estas partículas de tintas sejam conduzidas pela água de lavagem é necessário principalmente que as mesmas estejam na forma de partículas, em tamanhos bem menores aos da própria fibra e estejam distribuídas no fluxo de forma homogênea. Neste caso todo o fluxo de água, massa e impurezas, devem sofrer as seguintes etapas:

- Os ligantes, sejam de que tipo for, devem ser neutralizados;
- As partículas de tintas devem estar separadas das fibras;
- As partículas de tinta devem ter sido minimizadas em seu tamanho.

A partir das condições acima o fluxo de massa está apto a ser destintado pelo método de lavagem e pode ser trabalhado em qualquer lavador. Com todo o sistema preparado e controlado, em condições ideais, teremos toda a tinta sendo eliminada pela água de lavagem que atravessam os lavadores num sistema de conceito simples de filtragem das fibras com respectivo engrossamento.

As fibras que permanecerem sobre as telas dos lavadores estão aptas a serem enviadas a fabricação, e para seu bombeamento pode ser utilizada água de retorno da máquina de papel, quando não se tem branqueamento posterior.

A água de lavagem conduz estas impurezas numa concentração bastante baixa, gerando uma circulação bem alta de água. Estas devem ser recuperadas e num tratamento primário de rejeitos são extraídos com uma consistência aproximada de 2 a 3%, devendo ser engrossados e concentrados para serem levados a aterros sanitários e sua composição é principalmente de cargas, componentes das fibras e um pequeno percentual de tintas.

Idêntico ao sistema de flotação, a água recuperada deve retornar sempre para o tratamento de aparas e nunca deve ser enviada à máquina de papel, para que não possa influir na produção da máquina e por já ter características convenientes ao tratamento de aparas.

Os lavadores, diferentemente das células de flotação, são de diferentes conceitos de operação: lavador com tela sem fim, engrossador a tambor, “side hill”, prensa desaguadora, rosca inclinada, etc. Na figura 6.15, aparece um diagrama esquemático do lavador Thermo Black Clawson DNT.

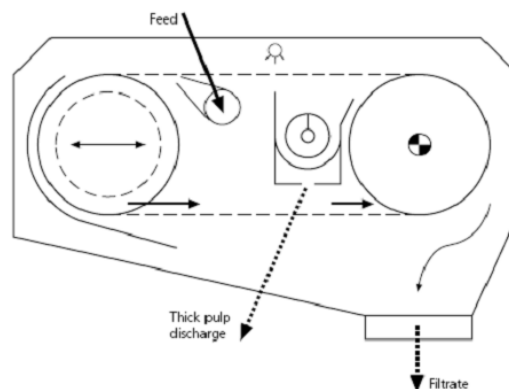


Figura 6.15 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

6.4.6. Branqueamento

Após terem sido retiradas as tintas das aparas ou em combinação com esta ação, as fibras recuperadas podem sofrer uma ação de branqueamento. Este branqueamento só é justificável caso as aparas que estejam sendo tratadas já não possuam tintas impressas, sobretudo tintas a base de negro de fumo, responsáveis por mais de 90% dos processos de impressão.

A justificativa desta afirmação é que estas tintas destacam-se com maior intensidade, quanto mais claro ou mais branco estiver este produto e, sendo assim, todo o objetivo deste tratamento será anulado.

Para se branquear uma pasta de aparas é importante ter conhecimento da matéria prima original, pois esta é a condição que determina o tipo de agente de branqueamento que iremos utilizar. É importante ressaltar que o branqueamento só age em corantes solúveis e não em corantes a base de pigmentos. Atualmente, o produto químico predominante no branqueamento de aparas é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que deve ser utilizado em combinação com um quelante, uma vez que se decompõe na presença de metais.

6.5. DEPURAÇÃO DE CABEÇA DE MÁQUINA

A depuração de cabeça de máquina (figura 6.16) tem por objetivo proporcionar ao formador uma composição livre de impurezas que possam afetar a qualidade final do papel e a produtividade da máquina (as impurezas podem ser as causas de quebras da folha de papel durante a produção). Desde o ponto de vista da eliminação de impurezas nas matérias primas, estas devem ser eliminadas eficientemente nos circuitos de preparação de massa, restando, em todos os casos, a depuração de cabeça de máquina como um mero “filtro” prévio ao formador.

Os depuradores pressurizados corretamente dimensionados têm sido geralmente considerados como equipamentos necessários em todos os sistemas de aproximação à caixa de entrada. Usando o método correto para o projeto da peça de transição entre o silo e a bomba de mistura, poderemos assegurar uma boa mistura e fluxo estável até a bomba. Antes da bomba de mistura sempre deverá existir uma pressão constante que normalmente é determinada pelo tanque da tela ou silo.

A depuração dinâmica é encarregada de eliminar partículas de maior densidade que as fibras. A importância desta operação é função do tipo de papel a fabricar, correspondendo às maiores exigências a papéis finos, e menores exigências a papéis de embalagem.

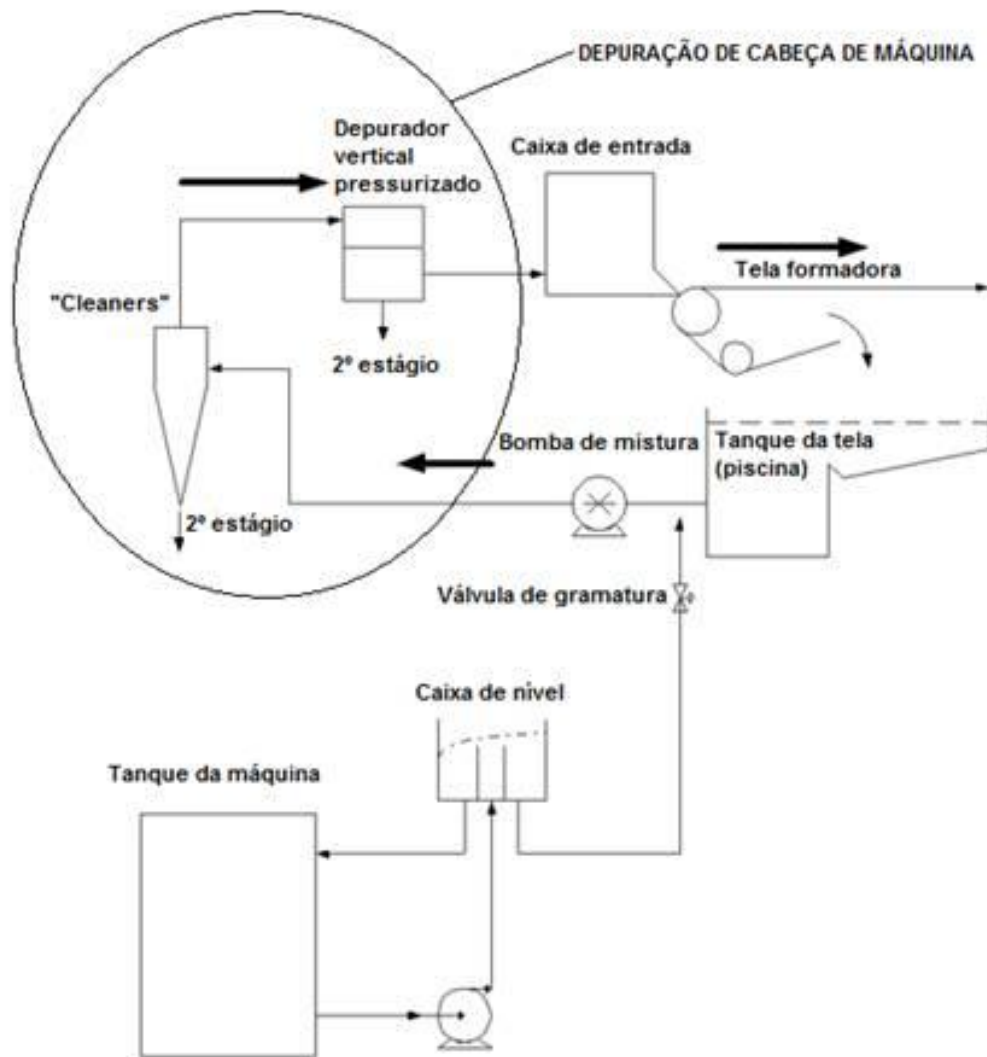


Figura 6.16 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)

7. REFINAÇÃO

7.1. OBJETIVOS DA REFINAÇÃO

A palavra refinação é sinônimo de refino, refinagem e moagem (termo mais antigo) e é considerado como uma das etapas mais importantes na fabricação de papel. Na literatura técnica em inglês podemos encontrar a expressão “beating”, uma expressão bem antiga, utilizada quando as fibras de celulose eram batidas com um malho de madeira ou dentro de um pilão. Normalmente, em inglês utiliza-se o termo “refining” quando se quer enfatizar que o tratamento é feito tão somente em equipamentos denominados refinadores.

A refinação das pastas celulósicas é geralmente o tratamento mecânico das fibras cujo principal objetivo consiste em melhorar a capacidade das fibras unirem-se umas às outras, a fim de que seja possível a obtenção de uma folha de papel homogênea e resistente aos esforços mecânicos a que estiver sujeita, seja durante o processo de consolidação na máquina

de papel, ou durante sua etapa de acabamento e conversão, ou ainda, durante sua aplicação final. A figura 7.01 mostra folhas feitas em laboratório, onde à esquerda não há refino e à direita as fibras foram refinadas com moinho PFI até 45 °SR.

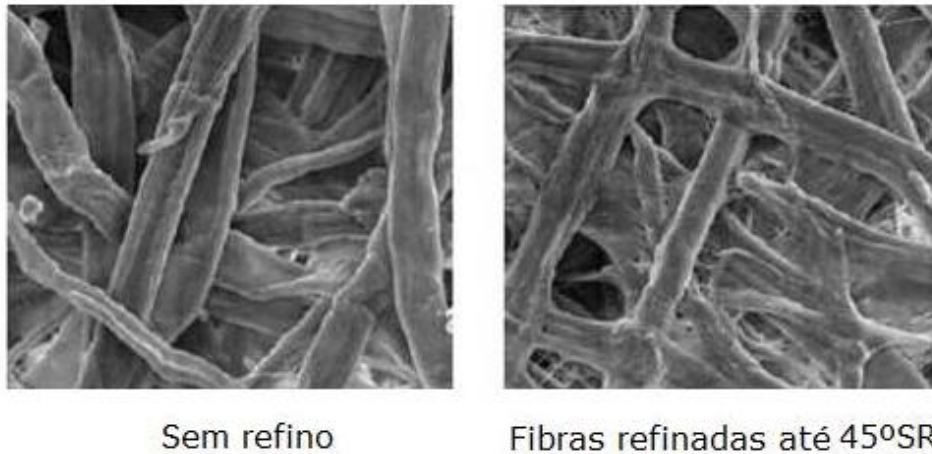


Figura 7.01 (FONTE: Yasumura – 2004)

Outros objetivos da refinação incluem a modificação das características das fibras para a obtenção de determinadas propriedades do papel. Para poder chegar a esses objetivos, as fibras podem chegar a serem encurtadas, hidratadas, fibriladas, operações essas que ajudarão a desenvolver as propriedades como resistência física, absorvência, porosidade e várias propriedades ópticas. As propriedades desejadas para os papéis dependem também de sua aplicação final ou de processamento, mas poderíamos dizer que se caracterizam por propriedades de resistência, propriedades ópticas, propriedades superficiais, propriedades de interação com substâncias químicas, entre outras.

A refinação modifica simultaneamente várias propriedades da pasta; alguns efeitos são desejáveis, porém, outros não. Como norma, tração, arrebentamento, dobras, união interna, densidade e tempo de drenagem aumentam com a refinação, enquanto que a opacidade, permeabilidade, poder absorvente, estabilidade dimensional e compressibilidade diminuem. O rasgo, às vezes, aumenta no início, porém, diminui posteriormente.

O desenvolvimento das propriedades anteriormente indicadas depende de diversos fatores tais como: a quantidade de refinação, a forma de refinação, geometria das guarnições e considerações do processo. Estes fatores – as condições de refinação (figura 7.02) – devem determinar de acordo com a composição da fibra, o produto final e as condições da fábrica.

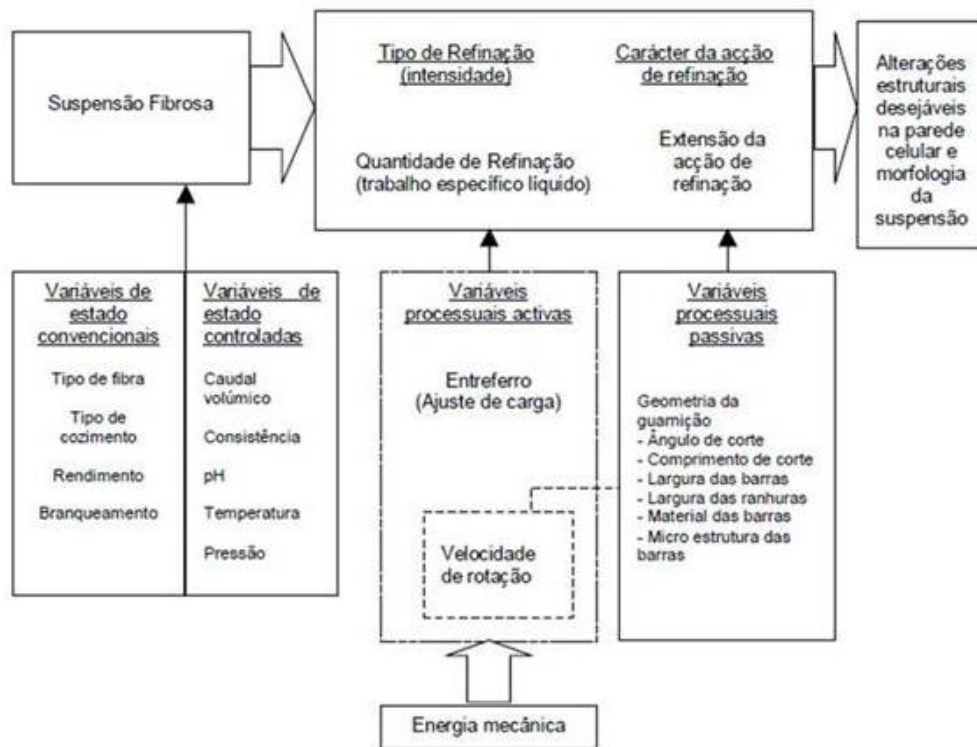


Figura 7.02 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

A ação mecânica imposta pelos elementos refinadores à polpa em suspensão, seja fibra contra metal ou fibra contra fibra, introduz modificações irreversíveis na estrutura das fibras e demanda um elevado consumo de energia. Devido a estes fatores, é de fundamental importância a compreensão dos mecanismos de transferência de energia para as fibras e como ela é utilizada no desenvolvimento das propriedades da polpa refinada.

7.2. TEORIAS QUALITATIVAS DA REFINAÇÃO

7.2.1. Teoria tradicionalmente aceita

A teoria tradicionalmente aceita sobre refinação da massa baseia-se em uma das hipóteses de **Campbell** sobre uma idéia de **Urquart**, segunda a qual os grupos hidrofílicos da celulose, unidos a uma molécula de água, perdem a água quando a celulose é secada, o que faz com que as valências residuais dos grupos hidroxilas sejam satisfeitas, em certa proporção, pelas das moléculas vizinhas, às quais se ligam por pontes de hidrogênio.

Campbell observou que, através de imersão em água, certa proporção dessas uniões rompia-se, provocando a debilitação da estrutura e induzindo algumas moléculas a um estado, no qual eram parcialmente dissolvidas. Nesse estado, as fibrilas são separadas mais facilmente pelo refino para serem postas em contato com as fibras vizinhas, quando a água é eliminada

da máquina de papel. À medida que a folha de papel aumenta seu teor de seco, as pontes de hidrogênio formam-se novamente, agora de preferência entre as fibras vizinhas (figura 7.03).

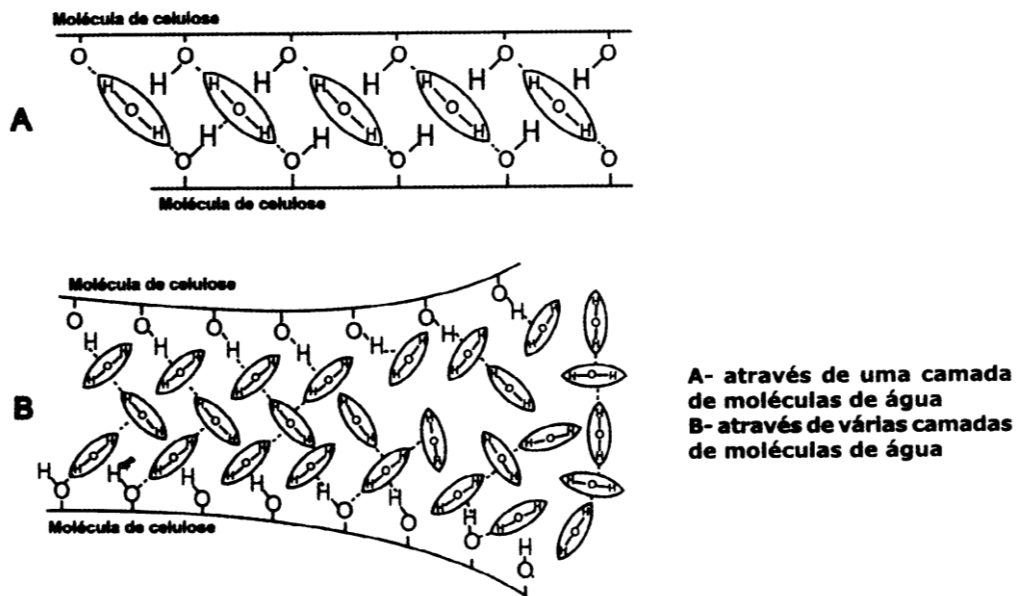


Figura 7.03 (FONTE: Fabricação de Papel – Preparação de Massa – SENAI / CETCEP)

Ao entrarem no refinador, estas fibras estarão sujeitas a um tratamento mecânico bastante severo. **Fox** lembra que, em escala industrial, a distância entre os discos é mantida em torno de 100 μm e que há evidências, obtidas através de fotografias ultra-rápidas tiradas com um disco translúcido, de que os flocos de fibras são da ordem de 1 mm de diâmetro, o que vem reforçar a teoria de que a ação de refino será muito drástica sobre as de fibras.

Segundo **Emerton**, durante as primeiras etapas do tratamento, as capas externas da fibra (isto é, a parede primária e a parede exterior secundária, especialmente esta última) são rompidas e parcialmente iliminadas, o que permite a fibra inchar-se. Ao mesmo tempo, em parte como consequência desse inchamento e em parte devido às intensas zonas de fricção que existem nas proximidades das lâminas do refinador, as fibras fibrilam-se internamente, indicando que as uniões existentes entre sucessivas lâminas co-axiais da parede média secundária são rompidas até certo ponto. Desencadeia-se assim, uma maior penetração de água entre as fibrilas, como consequência de que as hemiceluloses que são fortemente hidrofílicas e, em grau menor, a fração amorfa da celulose, tomam quantidades consideráveis de água e passam a um estado de solução coloidal parcial.

À medida que se elimina esta água de suspensão durante a fabricação, as fibras ocupam posições mais próximas umas das outras e, tão logo começa a eliminação de água contida nos capilares, as forças de tensão superficial empurram as fibras e fibrilas a um contato mais

íntimo. Uma vez que a distância entre moléculas de celulose vizinha é suficientemente pequena, assim existe a possibilidade de formação de pontes de hidrogênio; se as moléculas formam parte de fibras diferentes, essas fibras unem-se umas com as outras mediante forças muito similares às da cristalização, com uma resistência que depende, entre outros fatores, do número de enlaces formados entre ambas as fibras; ou seja, são produzidos dois fenômenos quase que simultaneamente:

- O trabalho mecânico efetuado sobre a fibra, arrancando-lhe as partículas das camadas mais externas, especialmente da parede primária e da parede exterior secundária, o que permite a entrada de maior quantidade de água dentro da fibra;
- A ocorrência da liberação das microfibrilas das camadas mais internas, restritas anteriormente pelas citadas camadas. Isso se conhece por fibrilação externa.

A água que penetra dentro das camadas mais internas da fibra rompe as uniões existentes entre os grupos hidróxilos e as moléculas de celulose, ou hemicelulose anteriormente próximas dos hidratos de carbono que existem no interior da fibra. Esse fenômeno é conhecido por fibrilação interna. Como conseqüência da entrada de maiores quantidades de água, a fibra se torna mais flexível e produz o fenômeno conhecido como inchamento.

Assim, as fibras, que podem ser visualizadas como tubos, são constantemente pressionadas pelas facas das guarnições do disco. Como resultado, as ligações que mantêm firme a estrutura da fibra vão se quebrando, permitindo a separação de suas paredes. Fibrilas são destacadas do corpo principal da fibra, expondo novas superfícies que absorvem mais água e, como conseqüência, fibrilam mais facilmente. Durante este processo de inchamento, impactos e fibrilação, as fibras tornam-se mais flexíveis e mais hábeis em receber impactos sem se quebrarem. Um dos resultados importantes deste processo é o colapsamento das fibras (figura 7.04) que contribui para a RBA do papel formado.

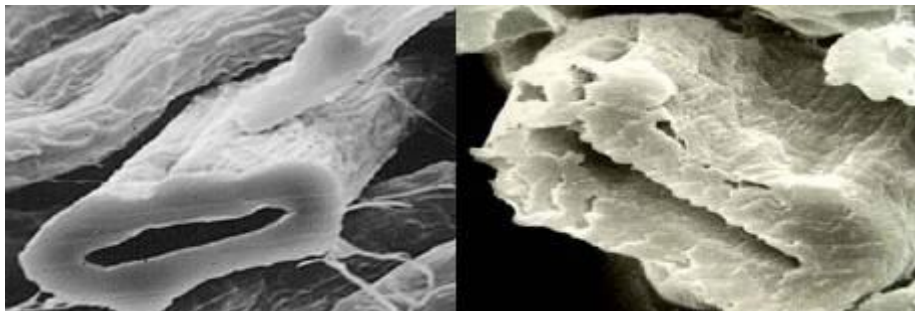


Figura 7.04 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

7.2.2. Teoria dos flocos

As fibras, presentes na massa, fazem parte dos flocos, ou seja, não existem individualmente e não podem mover-se independentemente. Isso ocorre na massa de consistência compreendida entre 2 à 6%. Com a manipulação da massa, como agitação, bombeamento, depuração, os flocos se deformam e formam continuamente. Esse fenômeno ocorre também durante o refino, quando a massa passa por refinador, atravessando os sulcos e lâminas (barras). O diâmetro de um floco, dependendo do tipo de fibras e da consistência, pode variar de 1 à 6 mm, valor este bastante alto, quando comparado com a folga entre os discos, comumente na faixa de 50 à 150 μm (figura 7.05).

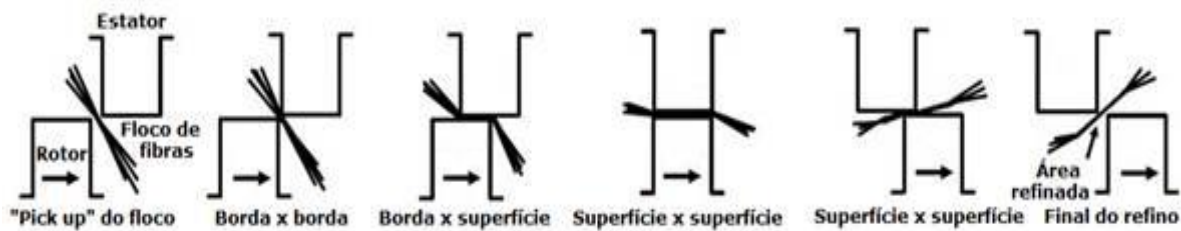


Figura 7.05 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End)

Por isso a probabilidade de um floco destes na entrada (boca) de alimentação é bastante pequena. Por outro lado, o fluxo da massa através dos sulcos é bem maior do que pela folga entre os discos. Este fato normalmente causa um refino desigual e leva às significativas perdas de energia com o bombeamento de massa, em vez de refiná-la. A formação de vórtice, para facilitar a alimentação, também fica prejudicada. Por isso, a seleção de segmentos (largura de lâminas, largura e profundidade dos sulcos), bem como manutenção de condições constantes durante o processo de refinação é de grande importância.

Page e seus colaboradores foram os primeiros a afirmar em 1962 que a refinação envolva a ruptura de flocos e o tratamento de resíduos desses flocos (**Ebeling**, 1980). Chegaram a estas conclusões através da análise de fotografias de alta velocidade. **Banks** em 1967 resumiu a mecânica da refinação da seguinte forma:

- Consolidação de flocos quando estes são presos entre barras que se aproximam;
- Pressão mecânica induzida pelas barras torna-se suficientemente elevada para provocar deformação plástica;
- Tensão de corte é exercida nos flocos comprimidos, provocando a ruptura de flocos e fibras;
- Redução da pressão mecânica permite absorção de água pelas fibras e fibrilas rompidas;

- Agitação turbulenta dispersa os flocos ou seus resíduos.

7.2.3. Outras teorias qualitativas

Entre outras teorias qualitativas da refinação pode-se ainda acrescentar, como exemplo, a refinação como um processo de lubrificação, em que todos os refinadores podem ser considerados como um ‘rolamento’, em que as camadas de fibras atuam como um lubrificante entre o rotor e o estator. Desta forma, a refinação pode ser observada como um processo de lubrificação.

7.3. TEORIAS QUANTITATIVAS DA REFINAÇÃO

7.3.1. ‘Carga Específica de Borda’ ou intensidade de refino

Dentre os diversos modelos já propostos para o equacionamento da ação de refino, a teoria da ‘Carga Específica de Borda’(*) - CEB (“Specific Edge Load” – SEL) é dos mais simples e já vem sendo bastante utilizado. De acordo com este modelo, a intensidade de refino, definida como CEB, e a quantidade de refino, representada pela ‘Energia Específica de Refino’, são os parâmetros que melhor descrevem a ação do refino sobre a polpa.

(*) OBSERVAÇÃO: nesta apostila será adotada a denominação ‘Carga Específica de Borda’ (CEB) ao invés de ‘Carga Específica de Lâminas’(CEL), como é usual nas literaturas brasileiras sobre o assunto, para não confundir com a demoninação “Cutting Edge Length” (CEL), que é o ‘Comprimento Específico de Corte’ (CEC), em português. A denominação ‘Carga Específica de Borda’ aproxima-se também da denominação em espanhol “Carga Específica de Borde”.

Esta teoria constitui uma importante ferramenta para o controle da operação de refino e, teoricamente, permite a comparação entre resultados de refinamentos de uma mesma polpa, mesmo que realizados em refinadores diferentes. A CEB é calculada pela equação abaixo:

$$CEB = P_u / L \text{ (w.s/m)}$$

Onde:

P_u : potência líquida aplicada, kW

L: comprimento de lâminas que se entrecruzam por segundo, km/s

Na figura 7.06 é mostrado um gráfico onde refinações de uma determinada polpa “hardwood” são levadas a cabo tratando-a em dois valores de CEB, usualmente 1,0 e 3,0 Ws/m, usando refinadores de plantas piloto. A energia específica de refino foi considerada de 0 a 250 kWh/t líquida e a propriedade medida foi “comprimento de ruptura”, que possui uma

boa relação com tração. Neste caso, observa-se que com uma menor CEB obtêm-se melhores resultados em termos de resistência.

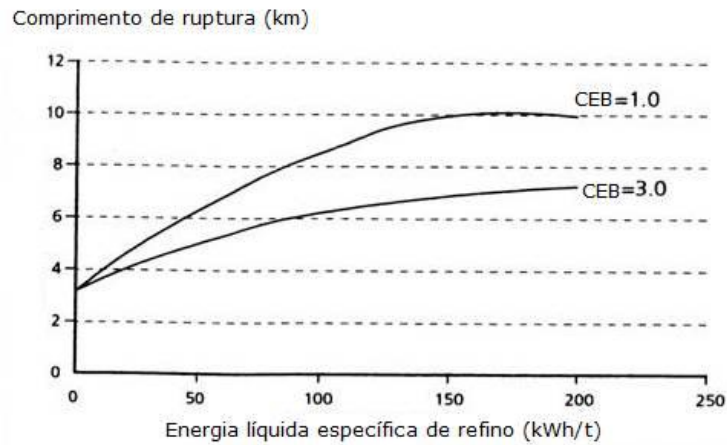


Figura 7.06 (FONTE: Refining Technology)

Ebeling em extensa revisão de literatura sobre refino relata as principais críticas feitas por diversos autores à teoria. De um modo geral, estes autores mencionam que o modelo não é um sistema perfeitamente compreensivo para a caracterização do refino ou para a estimativa de seus resultados, pois não considera os efeitos devidos ao material dos discos, consistência de refino, desgaste das barras, velocidade de rotação dos discos e profundidade dos canais.

7.3.2. Outra teorias quantitativas

Outras teorias quantitativas da refinação incluem ainda: fator “C”, refinador tratado como uma máquina hidráulica, teoria da película fibrosa e análise mecanicista da refinação.

7.4. OS EFEITOS DA REFINAÇÃO NA MORFOLOGIA DA FIBRA

7.4.1. Efeitos primários da refinação

Pode-se definir como efeito primário da refinação toda aquela modificação na estrutura da fibra que possibilite – pelo menos em teoria – diferenciar as fibras refinadas e não refinadas. Outro requisito é que não se possa dividir em componentes. Deve ainda ser uma modificação estrutural irreversível.

A distribuição e a intensidade dos efeitos primários da refinação sobre as fibras são muito heterogêneos. As causas que podem ser apontadas são:

- As fibras têm uma ampla distribuição de dimensões, ou seja, no comprimento, diâmetro, espessura da parede celular, ângulo fibrilar e em propriedades físicas tais como a flexibilidade e a resistência mecânica;

- A composição química da parede celular e a distribuição dos constituintes principais na parede celular variam muito;
- O mecanismo de transferência de energia mecânica para as fibras e a criação de efeitos primários obedece a uma função de probabilidade;
- O padrão de fluxo através do refinador é heterogêneo;
- O tipo e a intensidade do tratamento no interior da fibra são localizados.

Analisa-se nos parágrafos subsequentes a evolução dos conceitos relativos aos seguintes efeitos primários: a fibrilação (interna, externa e molecular) e os destrutivos (corte e geração de finos). Faz-se ainda uma referência aos efeitos secundários.

7.4.1.1. Fibrilação interna

A fibrilação interna (figura 7.07) consiste na delaminação interna essencialmente tangencial da estrutura coaxial da parede celular com embebição de água. **Emerton**, em 1957, teve uma contribuição notável ao utilizar as técnicas de microscopia na avaliação das modificações ultraestruturais que ocorrem nas fibras durante a refinação, (**Atack**, 1977). Ele reiteirou e estendeu o conceito postulado na década de 1930 por Campbell de fibrilação interna.

A fibrilação interna seria a delaminação da parede média secundária da fibra ocorrida durante a refinação. Evidências experimentais eram então escassas e circunstanciais.

Page e De Grâce (1967) observaram a delaminação em fibras de pasta ao sulfito e ao sulfato de baixo rendimento, ao longo da refinação de baixa consistência. **McIntosh** (1967) observou igualmente delaminação e intumescimento nas seções transversais de fibras de *Pinus taeda* refinadas.



Figura 7.07 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Stone e Scaltan propuseram um modelo estrutural da parede celular semelhante ao observado microscopicamente nas fibras refinadas e intumescidas com água (**Scallan**, 1978). O seu modelo foi baseado numa técnica de medida de absorção da água chamada de ‘exclusão do soluto’, que permitiu a avaliação quantitativa rigorosa da distribuição de tamanho dos poros da parede da fibra intumescida com água.

7.4.1.2. Fibrilação externa

A fibrilação externa (figura 7.08) envolve a desagregação, separação e perda parcial de material lamelar e macrofibrilar (visível ao microscópio óptico) das camadas externas da parede celular. As paredes externas das fibras das resinosas permanecem essencialmente intactas ao longo dos processos de cozimento convencionais. A refinação subsequente rompe e progressivamente remove estas camadas. A natureza da composição química e da superfície exposta é importante a dois níveis. Primeiro, a amplitude da ruptura da parede externa pode controlar a quantidade de fibrilação interna e externa.

Depois, a resistência das ligações desenvolvidas entre as fibras é finalmente determinada pela natureza química das superfícies expostas durante as últimas fases de remoção da água. É atualmente reconhecido que partes consideráveis da parede externa (S_1) e da parede secundária média (S_2) são removidas durante a refinação.

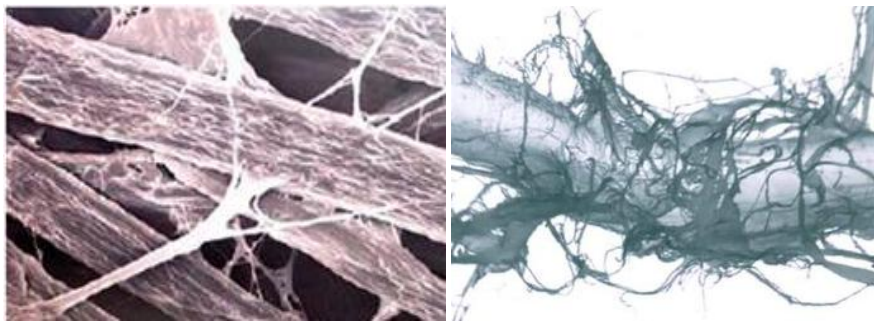


Figura 7.08 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

Os efeitos principais da fibrilação interna e externa sobre as propriedades da fibra são o aumento de sua capacidade de absorção de água (com o conseqüente intumescimento) e a plastificação e flexibilização da fibra. Na fibrilação externa criam-se igualmente novas áreas de ligação. De importância crucial é o aumento da superfície específica das partículas na suspensão fibrosa, que vai diminuir a aptidão para a drenagem da água sobre a tela da máquina de papel, trata-se de um parâmetro de sustentáculo para a produtividade global do processo de produção do papel.

7.4.1.3. Fibrilação molecular

A fibrilação molecular é definida como a solubilização parcial de estruturas poliméricas da matriz de componentes da parede celular. Não existe evidência direta, mas existem resultados que indicam que uma pequena parte dos materiais da parede celular é dissolvida durante a refinação (**Levlin e Nordman, 1977**). As quantidades relatadas de material

dissolvido variam entre 0,5% e 4% para pastas de resinosas. Assim, este fato afeta o rendimento em massa da produção de papel.

7.4.1.4. O corte das fibras e a geração de finos

O corte das fibras e o desprendimento de partes da lamela (“geração de finos”) constitui um efeito primário da refinação, fato acerca do qual existe abundante evidência experimental (Ebeling, 1980). O desprendimento de material lamelar e microfibrilar da parede celular é frequentemente apelidado de “geração de crill”, existindo também significativa evidência experimental. A figura 7.09 mostra finos e fragmentos de fibras em uma suspensão de fibras de baixa consistência.

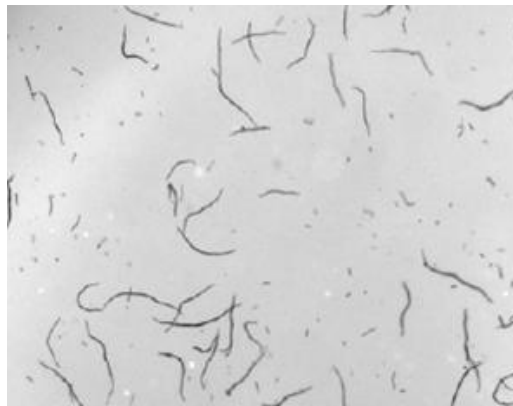


Figura 7.09 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

7.4.2. Efeitos secundários da refinação

Alguns efeitos secundários catalogados são a compressão longitudinal (da qual existem boas evidências experimentais), o enrolamento ou endireitamento da fibra e o colapso da parede celular. Silvy (1975; 1999) refere um efeito fundamental que é o da compressão radial das fibras. Esta compressão provoca uma extensão radial das fibras que provoca finalmente um efeito de corte e encurtamento. Abaixo, serão descritos alguns destes efeitos.

7.4.2.1. Delaminação da fibra

Forças atuando sobre a fibra durante a refinação faz com que as fibrilas movam-se relativamente umas em relação às outras, quebrando ligações internas e, então, causando delaminação das fibras. Isto tem sido claramente observado com o microscópio eletrônico (“Scanning Electron Microscope”). A delaminação das fibras contribui para outras mudanças tais como a inchaço e aumento da flexibilidade.

7.4.2.2. *Inchação da fibra*

A delaminação das fibras permite a entrada de água no interior das paredes da fibras, fazendo-as inchar. Esta água quebra ligações adicionais por pontes de hidrogênio criando ulteriores inchações. O índice de retenção de água (“Water Retention Value”) aumenta com a refinação, como tem sido mostrado, provando que há um aumento da quantidade de água ligada à fibra, à medida que o nível de refino aumenta.

7.4.2.3. *Aumento da flexibilidade da fibra*

A quebra das ligações internas permite que as fibrilas movam-se relativamente umas em relação às outras, fazendo com que as fibras percam a resistência à deformação, isto é, tornem-se mais flexíveis. Este aumento de flexibilidade permite que as forças de tensão da superfície aproximem mais íntimamente as fibras durante a consolidação da folha de papel. Isto, por sua vez, aumenta o nível de ligações fibra-a-fibra e, assim, influencia as resistências, propriedades óticas e outras características do papel.

7.4.2.4. *Remoção das paredes externas*

A fina camada primária (ou o que restou dela após a polpação e o branqueamento) e parte da camada secundária podem ser removidas por refinação, expondo uma nova superfície e permitindo um aumento na inchação da fibra. As camadas removidas aumentam o nível de finos na polpa e então afetam as propriedades do papel.

7.4.2.5. *“Microcreping” das fibras e introdução de outros defeitos*

Ambos os efeitos afetam as propriedades mecânicas das fibras. O “microcreping” produz uma fibra mais extensível e defeitos tais como dobras e ‘balões’ (“balloning”) locais (figura 7.10) que podem causar uma redução na resistência local da fibra.

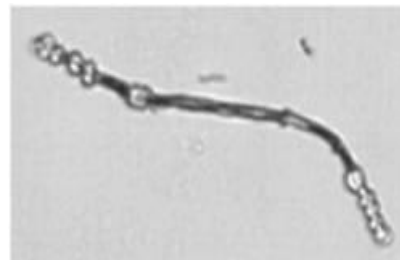


Figura 7.10 (FONTE: Tese de doutorado – Alvaro Vaz)

7.4.2.6. *Encanoamento e torcedura de fibras*

O encanoamento e torcedura das fibras influenciam a estrutura de malha do papel e assim afeta suas propriedades.

7.4.2.7. Aumento da superfície específica

A produção de materiais finos com a remoção da camada externa aumenta a superfície específica. Isto é mais adiante aumentado pelo afrouxamento das fibrilas da superfície.

7.5. TIPOS DE REFINADORES E HISTÓRICO

7.5.1. Moinhos e Holandesas

Tem-se conhecimento de que no ano 750 d.C. os árabes já produziam papel de linho, batendo e macerando suas fibras úmidas com martelos de madeira. Os espanhóis desenvolveram, por volta do ano 1150, um moinho onde as fibras de trapos eram maceradas e batidas em água por toretes de madeira. Um cilindro dentado de madeira, movido por força hidráulica, fazia com que os toretes caíssem repetidas vezes sobre o material fibroso, transformando-o em pasta.

Os holandeses, motivados pela escassez de recursos hidráulicos desenvolveram no século XVII o moinho hoje denominado de ‘Holandesa’ (figura 7.11). Tratava-se de um tanque oblongo, dividido por uma parede central, tendo ainda em um de seus lados um mecanismo de moagem. Esse mecanismo consistia de um cilindro móvel de madeira, tendo assentado sobre a sua superfície barras de ferro. A massa era colocada no tanque e a moagem se dava pela sua passagem entre as extremidades das barras do cilindro e o fundo do tanque. Na história da fabricação de papel, o desenvolvimento das holandesas foi talvez um dos maiores progressos observados.

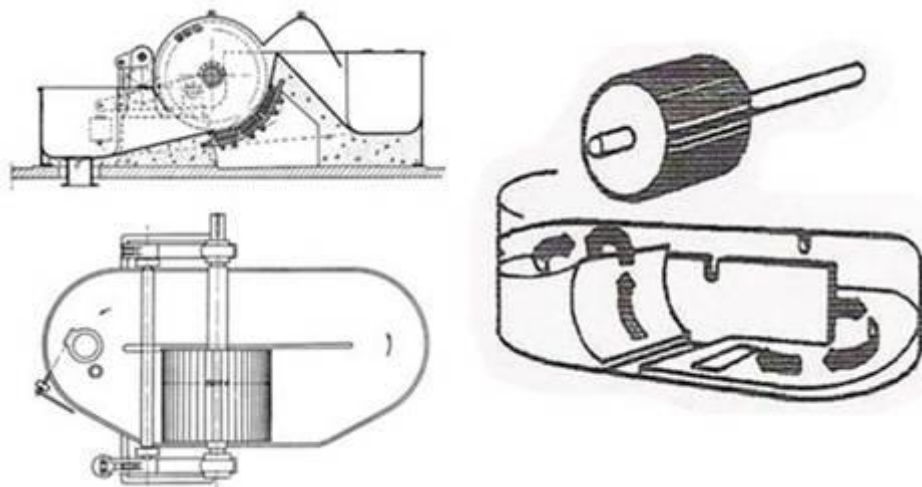


Figura 7.11 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End / Refining Technology)

Embora tenha incorporado uma série de desenvolvimentos, a holandesa ainda hoje tem o formato original e é utilizada atualmente na preparação de massa de fibras que requerem longos tempos de moagem, por exemplo, na moagem de trapos, fibras de linho e de manilha.

Devido ao seu alto consumo de energia por tonelada de massa preparada, resultados diferentes em cada carga, necessidade de grande espaço e falta de controle da ação de refino, as holandesas foram substituídas por equipamentos contínuos de refinação. O estudo das holandesas possibilitou o desenvolvimento dos refinadores, já que existe certa afinidade entre eles, inclusive quanto ao controle da ação de refino.

7.5.2. Refinadores cônicos ou Jordans

No início do século XX a refinação de pastas mecânicas evoluiu a partir das “holandesas” usadas para fibrilação das fibras para os refinadores cônicos. O refinador cônico (figura 7.12) consiste em um cone girando dentro de uma carcaça cônica. Ambos, o cone e a carcaça, possuem lâminas na direção axial. Normalmente, a extremidade de maior diâmetro possui também o maior número de lâminas. Isso produz um maior número de arestas de trabalho e assegura, possivelmente, constante distância entre as lâminas.

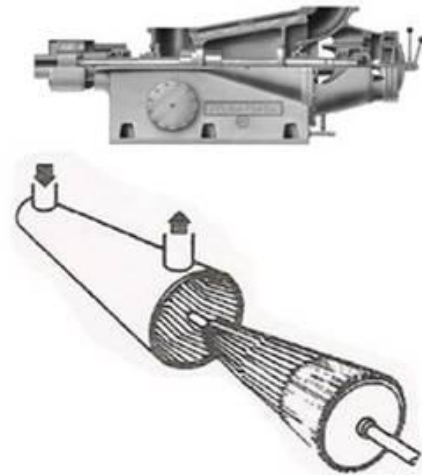


Figura 7.12 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End / Refining Technology)

A massa, sob pressão de 2,1 a 3,5 kPa, é alimentada com uma consistência de 2 a 5% pela extremidade menor do equipamento e passa entre o rotor (cone e a carcaça), saindo pela extremidade maior. As fibras da massa fluem paralelamente à direção das facas, tanto do cone como da carcaça; fluxo que é diferente do que ocorre nas Holandesas, onde a direção da massa é perpendicular a direção das facas. Este detalhe provoca menos corte nas fibras.

Em uma das extremidades do refinador está colocado um volante cuja finalidade é provocar um movimento longitudinal no rotor (figura 7.13). Esse movimento regula a distância entre as lâminas do rotor e do estator, o que permite aumentar ou diminuir a pressão sobre as fibras, culminando em maior ou menor consumo de energia para alcançar o grau de refinação desejado.

Para a maioria dos refinadores cônicos, o ângulo do cone é superior a 15° , principalmente na faixa dos 16 a 17° , com alguns a cerca de 20° . A potência do motor varia de 11 kW (15 HP) a 600 kW (800 HP), com uma rotação por minuto de 250 a 1500 rpm. A espessura das facas varia desde $3,17$ mm ($1/8''$) até $12,7$ mm ($1/2''$).

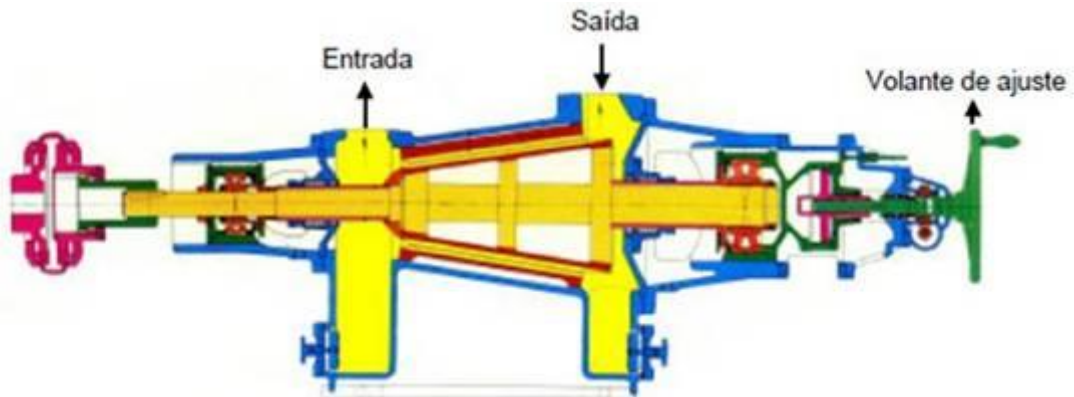


Figura 7.13 (FONTE: Fabricação de Papel – Preparação de Massa (SENAI CETCEP))

O refinador cônico atendia as exigências da época muito bem, porque ele era bom para cortar as fibras longas, então em uso no mercado. Os refinadores cônicos continuaram a ser utilizados para a refinação de pastas mecânicas até os anos 1960, porque à medida que as fibras de madeira começaram a substituir as fibras sem presença de madeira, as fibras de madeira macia (“softwood”) eram utilizadas e ainda era desejável o corte das fibras.

Entretanto, o sistema de conjuntos cônicos dos velhos refinadores limitava a capacidade de fibrilar sem cortar. Isto se tornou um prejuízo, à medida que as fibras curtas (“hardwood”) participavam mais das misturas na preparação de massa. As fibras curtas requerem fibrilação com o mínimo de corte ou até para atingir seu melhor potencial na fabricação de papel. As intensidades de refinação recomendadas devem ficar abaixo de $0,2$ Ws/m e este valor não se conseguia com os antigos refinadores cônicos.

Os refinadores cônicos também apresentavam diversos problemas operacionais. Eles necessitavam de significativa quantidade de energia, tornando-se assim ineficientes quanto à energia utilizada. As trocas dos conjuntos cônicos levavam de 8 até 24 horas, eram muito caras e requeriam um longo tempo de espera entre a parada do refinador devido a troca e a volta do refinador ao trabalho. Para compensar este tempo de parada, para a troca dos conjuntos cônicos, era muito comum instalar-se cerca de 30% a mais de capacidade de refinação.

7.5.3. Refinadores de alta velocidade ou de grande ângulo

Estes refinadores cônicos (figura 7.14) apresentam as facas com uma inclinação de cerca de 60° com o eixo axial do motor; são mais curtos e trabalham a velocidades superiores a estes: 800 a 1000 rpm. Por cortar menos e hidratar mais as fibras, estes equipamentos têm substituído os refinadores Jordans. Segundo **Glasl**, este tipo de refinador apresenta as seguintes vantagens em relação a um Jordan:

- Para uma mesma área refinadora, ocupa menos espaço;
- Permite a utilização de facas mais altas;
- As chances de atrito entre o rotor e a carcaça são menores;
- As características de fluxo são melhores;
- Para uma mesma rotação de cone (rpm) consegue-se as velocidades periféricas mais altas.

A Jyhlavara e depois a Sunds, quando adquiriu a Jyhlavara, reintroduziram o refinador cônico nos anos 1980 com seu novo conceito “Conflo” (figura 7.15) – um refinador com dois cones e com um ângulo pequeno e com menor intensidade do que os antigos Jordans e Claflins.

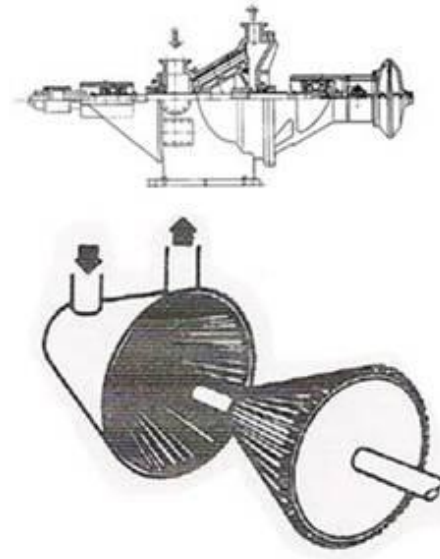


Figura 7.14 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End / Refining Technology)

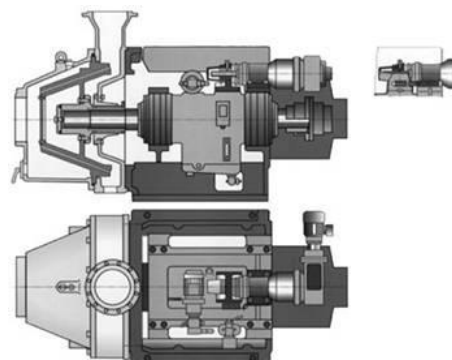


Figura 7.15 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End / Refining Technology)

Resultados de campo iniciais com o “Conflo” mostraram uma habilidade de conseguir melhorias no desenvolvimento das fibras; tratamento melhor, mais completo e homogêneo das fibras, e melhoria da eficiência de energia em desenvolvimento idêntico. Considerou-se,

inclusive, o refinador cônico de pequeno ângulo como, possivelmente, o mais eficiente refinador para o tratamento de “kraft” de madeira mole.

7.5.4. Refinadores a discos (simples e duplos)

O refinador a discos evoluiu para substituir o refinador cônico. Em geral, os refinadores a discos estão capacitados para trabalhar em rotações maiores e utilizar discos de refinação com um comprimento de corte maior por área. Isto equivale a propiciar uma intensidade de refino muito mais baixa, adequada para as fibras curtas. Os refinadores a discos utilizam relativamente menos energia do que os refinadores cônicos, conseguindo um custo menor por tonelada produzida.

De um modo geral, esses equipamentos possuem dois discos, um estator e um rotor. A massa é alimentada sob pressão através de um orifício que está no centro do disco estator e, em seguida, é obrigada a passar entre os discos, onde é refinada. Entretanto, podem ainda ser enquadrados como refinadores de disco os seguintes tipos: de disco simples (com um disco móvel e um estacionário); de contra-rotação (com os dois discos móveis, um girando contra o outro) e de disco duplo (com dois discos estacionários fixados à carcaça, e dois móveis (de face dupla de refinação) fixados ao eixo central do refinador.

Os refinadores de discos duplos (“Double-Disc Refiner” - DDR) oferecem alta eficiência e bom potencial para tratamento por causa de duas zonas no refinador. O refinador também oferece um considerável grau de flexibilidade em operação por causa da diversidade de desenhos de discos rotativos. O arranjo padrão de barras e peças de um refinador oferece (para um tamanho similar) uma faixa similar de comprimento de barra para um refinador cônico de pequeno ângulo. A diferença é que o refinador a discos oferece um grande número de impactos curtos de barra, enquanto o refinador cônico de pequeno ângulo oferece um menor número de impacto de barras longas. O refinado de duplos discos é mostrado nas figuras 7.16 e 7.17.

Entretanto, os refinadores de discos também possuem seus problemas. Nos refinadores de discos com diâmetros maiores utilizados nas máquinas de papel que operam em alta velocidade e grandes produções, suas rotações de operação estão limitadas pelas velocidades periféricas nos diâmetros externos. Esta característica limita a desejada habilidade da refinação em atingir a baixa intensidade, vantajosa para as fibras curtas (“hardwood”) e pasta mecânica.

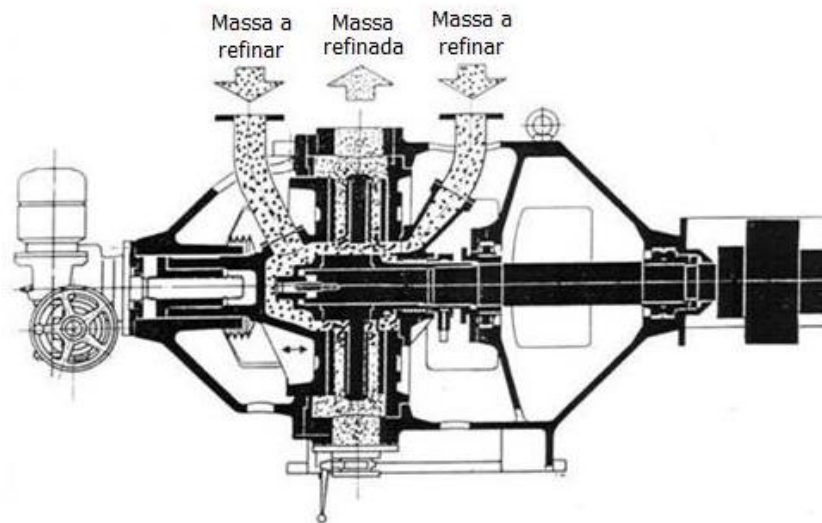


Figura 7.16 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

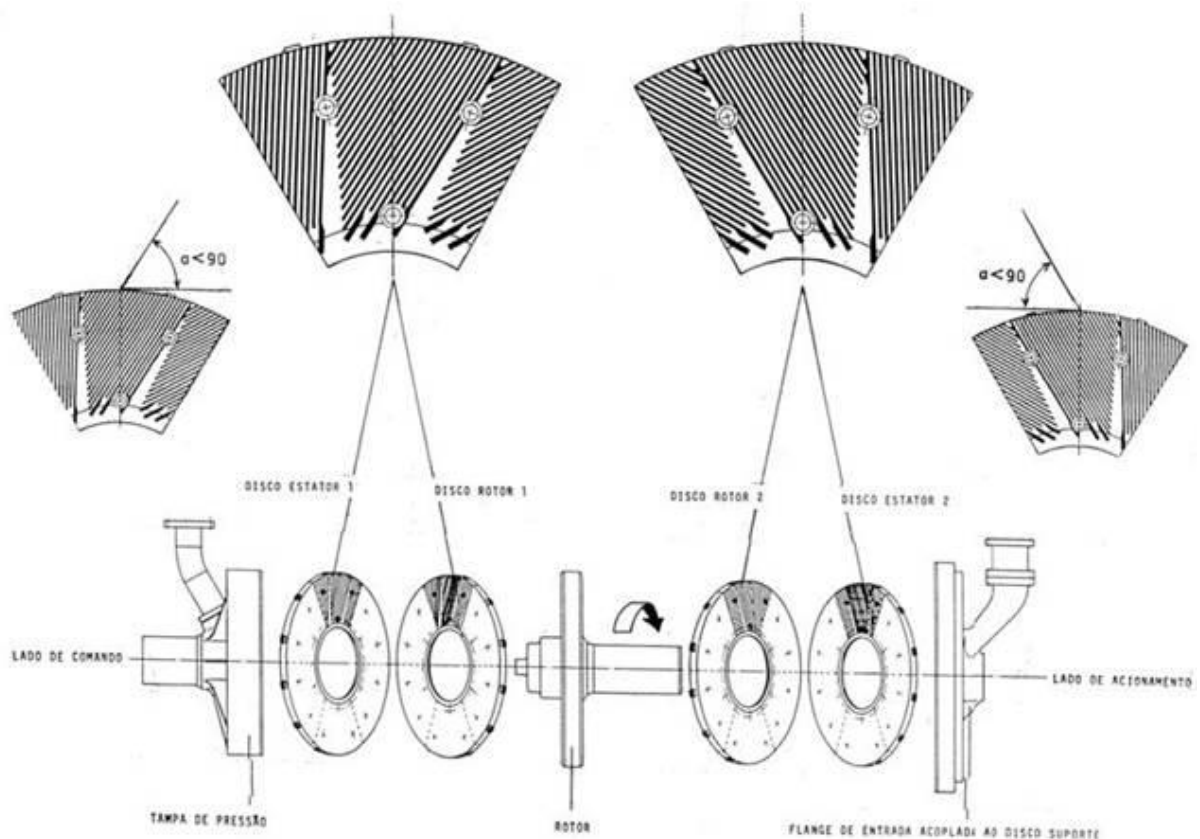


Figura 7.17 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

Devido aos fluxos de vórtice e forças centrífugas, nem todas as fibras presentes são refinadas, pois várias seguem as ranhuras dos discos (figura 7.18). Nestas condições, a eficiência da refinação e da energia é baixa. Mesmo assim, segundo RATNIEKS (1993), somente 40% das fibras sofre algum impacto ao passar por um refinador.

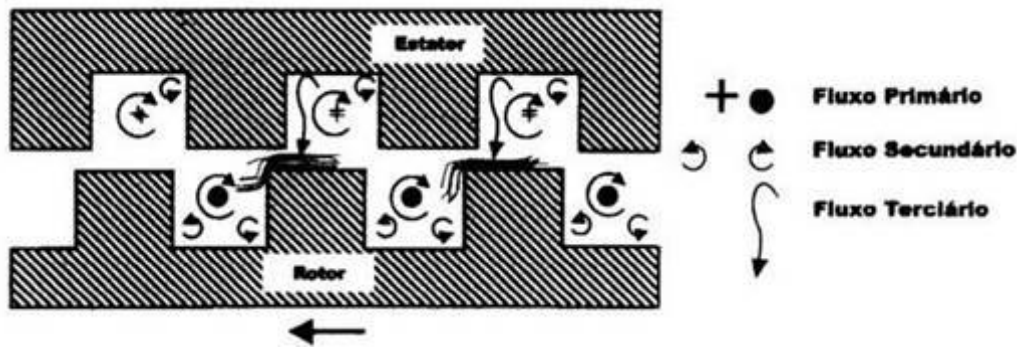


Figura 7.18 (FONTE: LÓPEZ, A.L.T., Tecnología del Papel - apuntes de curso)

Numa pesquisa realizada no Centro de Celulose e Papel, na Universidade de British Columbia, em que foram utilizados traços de fibras plásticas no fluxo de pasta mecânica, concluiu-se que muitas fibras não mostravam qualquer evidência de impacto; e que as fibras que receberam impactos foram severamente deformadas, indicando um estado de hiperrefinação. Em outro estudo, Martinez e Kerekes mostraram que num refinador de barras simples de laboratório, somente 0,1% da energia de refinação utilizada resultou em esforço de tração de uma fibra.

Conseqüentemente, num refinador de discos, é provável que as fibras que são impactadas tenham a tendência de serem superrefinadas para compensar aquelas que não foram impactadas a fim de atingir o desejado grau de refino. Este efeito leva a indesejável geração de finos, enfraquecimento das fibras refinadas e ineficiente aplicação de energia à fibra.

Os discos rotativos ficam centrados entre os discos estacionários devido ao fluxo de massa e pressão equalizada em ambos os lados do rotor. Os discos são paralelos, através de sua face inteira, e a pressão, igual em ambos os lados, evita a deflexão. Isto é crítico para uma ação uniforme de refinação, mas ajuda a prevenir mais significativamente contatos metal com metal. O movimento da placa no refinador a discos é sempre perpendicular às superfícies refinadoras, assegurando uniforme 'acasalamento' dos pontos altos e baixos, os quais fornecem um tratamento mais uniforme à fibra.

As duas zonas do DDR permitem uma entrada de alta energia por refinador para um dada intensidade de refinação. Os arranjos do refinador são feitos a partir de fundição ou barras soldadas. Eles também podem ser 'fabricadas' o que possibilita a obtenção de barras e ranhuras padrões. Dois padrões de discos são mostrados na figura 7.19.

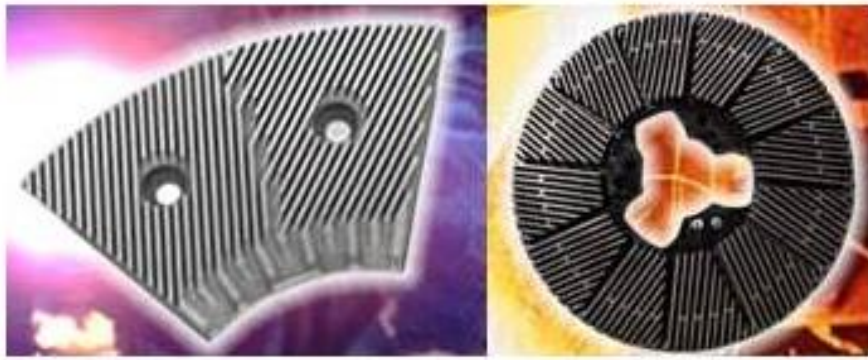


Figura 7.19 (FONTE: www.hirafoundry.com)

Possuindo duas zonas, um DDR pode ser internamente configurado para operação em série ou paralelo, conhecido como “monoflo” ou “duoflo”. Na operação “monoflo” a massa flui sequencialmente através de cada zona enquanto que no “duoflo” a massa flui através de cada zona simultaneamente. Na operação “duoflo” o refinador tem duas vezes a sua capacidade. Estas configurações internas são mostradas na figura 7.20.

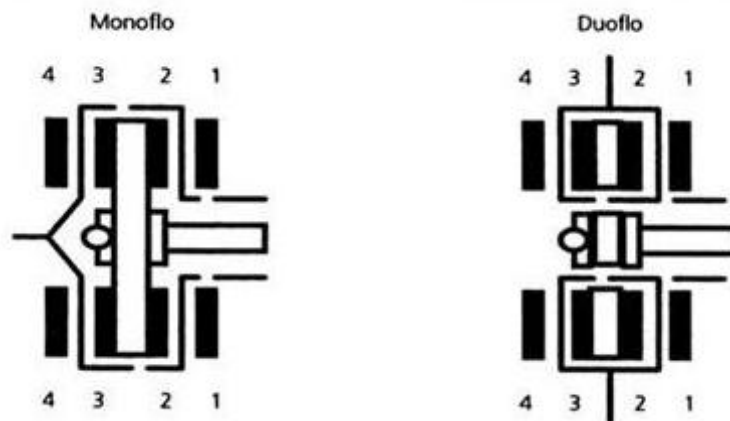


Figura 7.20 (FONTE: Refining Technology)

Na figura 7.20 os arranjos são numerados como segue:

- (1) É o estator mais próximo do motor;
- (2) É o primeiro lado do rotor;
- (3) É o lado reverso do rotor;
- (4) É o estator no lado da porta.

Bloqueando ou desbloqueando as passagens através do rotor, uma configuração de DDR pode ser alterada a partir do “duoflo” ou “monoflo” e vice versa. Isto pode ser necessário onde se altera a utilização de fibras, por exemplo, quando aumenta o conteúdo de “hardwood” ou reduz o conteúdo de “softwood”, para permitir modificação das características de fluxo de

cada refinador. Com operação “duoflo” é fácil manter iguais espaços (“gaps”) nas duas zonas. Outro método de alteração a partir do “monoflo” para “duoflo” é o sistema “tri-disc” ao qual é reinvidicado dar tratamento uniforme por causa da maior área aberta no rotor.

7.5.5. Refinadores de multidiscos

Um desenvolvimento Beloit Corporation, que provê uma solução no sentido de obter-se refinação comercial a baixa consistência, foi introduzido o conceito de refinador de múltiplos discos. Neste-se intensidades de refino de 0,3 Ws/m são perfeitamente obtidas. Esta máquina, desenvolvida para fibras curtas ou frágeis, evita as limitações de velocidades elevadas no refinador ou barras muito frágeis. O conceito desenvolvido é o de instalar diversos discos rotativos dentro do compartimento de um refinador convencional.

Um refinador convencional tem um elemento rotativo com discos em ambos os lados, para prover duas superfícies de refinação. Os discos do refinador de múltiplos discos são ‘fresados’ de ambos os lados, de modo a prover de 6 a 8 superfícies de refinação e um número igual de superfícies estacionárias opostas (figura 7.21). Todos os discos são montados no refinador, de modo que cada um tenha movimento axial independente.

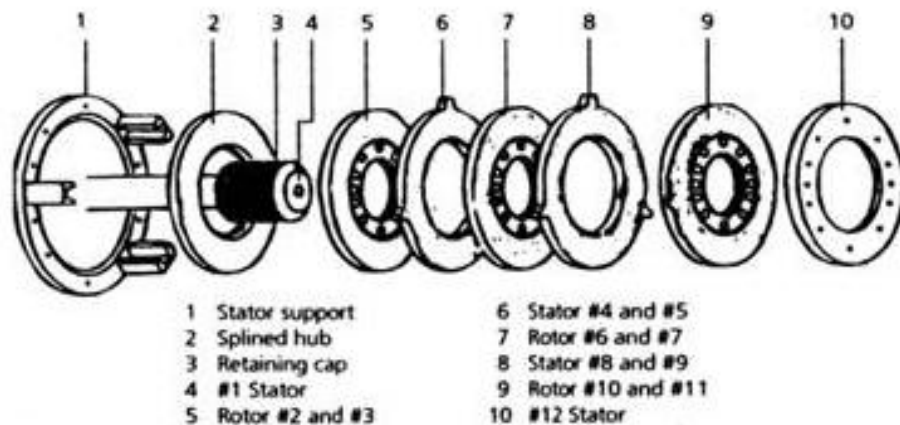


Figura 7.21 (FONTE: Refining Technology)

O uso do refinador de múltiplos discos, aplicado para refinação em baixa intensidade tem sido usado comercialmente desde 1986, tanto nos EUA, como na Europa. Até novembro de 1989, existiam 22 unidades em operação com diâmetros entre 20” e 38”. Estes são utilizados para refinar polpa “kraft” de eucalipto, pastas mecânica de mó, pasta termomecânica e polpa “kraft” de coníferas, bem como polpa “kraft” de coníferas isoladas e aparas destintadas.

7.5.6. Refinadores tri-cônicos

Em meados de 1990, a Pilão S/A do Brasil, fabricante de refinadores de discos, começou um desenvolvimento para melhorar os projetos de refinadores cônicos então existentes no mercado. Os objetivos eram desenvolver um refinador que combinasse o desenvolvimento da fibra com as características de redução de energia de novos refinadores cônicos com a maior capacidade e eficiência de energia. O resultado deste desenvolvimento foi um refinador cônico com três cônicos de refinação (figura 7.22).

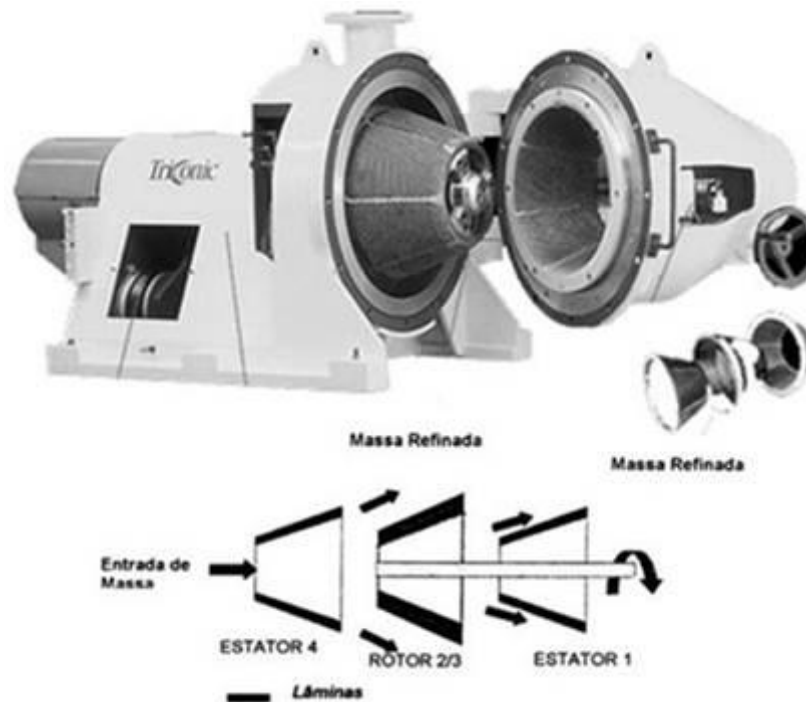


Figura 7.22 (FONTE: www.redetec.org.br/inventabrasil/pilao)

O sistema de refinação compõe-se de um refinador cônico com ângulo de 20° , duplo fluxo com um rotor cônico de dupla face e dois estatores cônicos. Como no caso dos refinadores de discos, o rotor flutua e se posiciona pelo fluxo da pasta mecânica e pela pressão hidrodinâmica em ambos os lados. Como conceito, este refinador pode ser imaginado como um refinador de duplo disco, dobrado para trás de si próprio.

O projeto incorpora cônicos de pequenos diâmetros com uma área de refinação comparativamente maior. Por exemplo, para conseguir a mesma área de refinação de um refinador de discos de 34", o novo projeto utiliza cônico como o maior diâmetro de somente 540 mm (21,25").

Uma vez que o diâmetro do rotor é menor, a velocidade periférica no diâmetro externo do rotor para uma dada rotação é consideravelmente reduzida. Isto permite que a rotação máxima aceitável do refinador seja aumentada, oferecendo assim intensidades de refinação mais baixas. Em teoria, então, o novo refinador cônico deveria ser melhor para fibras de

madeira dura e papel reciclado por oferecer refinação de baixa intensidade, equivalente a maior fibrilação e menor corte.

O total do consumo de energia, incluindo as necessidades de energia para “no-load”, também mostra redução para a área de refinação equivalente. Usando os projetos existentes para a fabricação dos corpos e dos elementos rotativos dos refinadores de discos, a equipe de engenharia dedicada ao novo projeto de refinador redesenhou a porta do refinador para acomodar o conceito do conjunto de três elementos cônicos.

A relação geométrica entre as barras e as ranhuras também é mantida constante durante toda a vida útil dos elementos cônicos (no caso dos elementos cônicos fundidos, a relação geométrica barra/ranhura se modifica à medida que as barras sofrem desgaste).

Os elementos cônicos (rotor e estatores) são comparativamente pequenos e são removidos pelo lado da porta do refinador. A troca dos elementos cônicos desde a parada do refinador até a partida do mesmo pode ser conseguida em 1 h a 2 h. Quando se torna necessária a manutenção do refinador, todo o conjunto rotativo incluindo eixo, rolamentos e retentores, pode ser removido pelo lado da porta do refinador.

7.5.7. Ultrassônicos

Quando ondas ultrassônicas são propagadas através de um meio líquido, regiões de rarefação e compressão são formadas. Nas regiões de rarefação, bolhas de ar ou vapor podem ser formadas, as quais na região de cavitação podem ser severamente comprimidas, criando zonas de pressão. A pressão nas bolhas pode alcançar alguns milhares de atmosferas antes do colapso final. Quando as bolhas desaparecem, ondas de choque são geradas, podendo levar ao tratamento da fibra.

Trabalhos com destintamento ultrasônico mostraram que, como um efeito lateral, o comprimento de ruptura, fator de arrebentamento e fator de alongamento foram significativamente aumentados sem a perda de resistência ao rasgo. O consumo de potência é algo maior do que no destintamento por “hidrapulper”, mas isto é compensado pela economia de químicos, bombeamento e energia de refinação.

Devido a esta ação específica nas fibras celulósicas, o ultrassom melhora certas propriedades do papel (por exemplo, dobras duplas), e aumenta a reatividade das fibras, então tornado possível intensificar branqueamento e processamento químico das polpas. O primeiro equipamento de laboratório para ultrassom de líquidos era baseado no princípio da sirene ultrassônica e é conhecido como “Ultra-Turrax”.

Um gerador em escala industrial, chamado “Fibrotom”, foi desenvolvido na base de experimentos em laboratório com “Ultra-Turrax”. Sua modificação é o “Entstipper” projetado para desfibramento de papel usado. O “Superfiner”, desenvolvido na Tchecoslováquia, combina as características do “Fibrotom” e os refinadores convencionais. Duas outras máquinas de projeto da Tchecoslováquia são o “Superfibrator” (um refinador bastante eficiente de estágio final) e o “Supratonator” (projetado principalmente para desfibramento de papel velho, e baseado no princípio da sirene ultrassônica).

7.5.8. Biotecnologia

O potencial por biotecnologia dentro da indústria de polpa e papel está crescendo, especialmente onde o uso de enzimas é interessante. Com novas pesquisas encaminhadas e assuntos ambientais causando crescente interesse, as enzimas irão representar um importante papel em muitas aplicações no futuro. Por exemplo, a habilidade do sistema de enzimas em remover a lignina, com somente a desejada proporção de hemicelulose, pode aumentar o rendimento de polpas “kraft” em até 15%.

A aplicação de enzimas em linhas de branqueamento da polpa, na preparação de receitas com papel usado e no tratamento de efluentes das fábricas, está tornando-se uma realidade. Nos processos de bio-polpação, fungos brancos de putrefação degradam a madeira e particularmente a lignina. Uma vez que a degradação não é suficientemente específica para a lignina, a ênfase da pesquisa tem sido o pré-tratamento com fungos, seguido pela polpação mecânica. Os fungos são frequentemente aplicados aos cavacos em um bioreator, na forma de um tambor rotativo. Taxas de remoção da lignina, em torno de 30 a 37%, têm sido alcançadas em quatro semanas – um prazo que torna a aplicação disponível para uma pilha controlada de cavacos. A energia de refinação é então, aproximadamente, dividida à metade enquanto alcança propriedades similares as da CTMP.

Em provas laboratoriais da madeira com fungo antes para polpação termomecânica têm sido mostradas várias melhorias, tais como uma redução na energia requerida para refinação e melhoria da resistência do papel comparado com a polpação termomecânica convencional. Fungos são organismos naturais de deterioração da madeira que remove ou modifica a lignina nas paredes das células da madeira e amolecem os cavacos antes da polpação mecânica.

Duas das mais utilizadas fontes de fibras recicladas, as quais frequentemente contêm fibras recicladas de si mesmas são “Old Corrugated Container - OCC” e “Old Newspaper - ONP”. Este adicional conteúdo de fibra reciclada reduz a velocidade das taxas de drenagem nas máquinas de papel e cartão. Tem-se mostrado que a drenagem de fibras recicladas pode

ser melhorada usando ‘hemicelulases’ e ‘celulases’. Este estudo investigou a melhoria do “freeness” de OCC e ONP para uso na manufatura de material de cartão 100% reciclado. Resultados revelaram que a melhoria do “freeness” pode ser alcançada enquanto as propriedades de resistência são mantidas sobre certas condições.

Os testes laboratoriais e provas em fábricas foram levados a cabo para determinar se o pré-tratamento com enzima pode reduzir a energia de refinação (ou moagem). Foi investigada sua aplicação para papéis especiais, tais como condensador, “glassine” e papéis finos. A melhor enzima foi selecionada ensaios laboratoriais e, então, aplicada em provas industriais, resultando em uma economia de cerca de 20% na energia de refino, com a mesma opacidade. Provas industriais em papéis finos mostraram que mesmo quando a polpa de alto “freeness” era usada, a formação era melhorada, e uma economia de energia de 10% foi alcançada.

7.5.9. Refinadores de alta consistência

A refinação em alta consistência não é um processo para todas as fábricas e aplicações, porém é interessante para aquelas fábricas buscando características específicas que podem tornar seu produto mais econômico ou mais competitivo. Atualmente, as aplicações de refinação em alta consistência têm, cada vez mais, ganhado espaço nas indústrias papeleiras e subprodutos da madeira. As principais aplicações deste processo para fabricação de papel são:

- RMP (“Refined Mechanical Pulp”)
- PRMP (“Pressurised Refined Mechanical Pulp”)
- TMP (“Termo Mechanical Pulp”)
- CTMP (“Chemical Termo Mechanical Pulp”)
- Papéis reciclados (OCC)
- “Sack Kraft” (Papéis extensíveis)

A refinação em alta consistência (RAC) para fibras longas requer consumos de energia altos para decompor suas paredes espessas em relação às fibras curtas. Comparando com a refinação em baixa consistência (RBC), o consumo de energia na RAC é significativamente superior para um mesmo grau de refino, entretanto esta capacidade de absorção de energia aplicada com baixa variação do grau de refino é interessante para aplicações onde se necessita uma alta resistência da polpa com baixo grau de refino.

Esta característica se aplica às polpas para fabricação de papéis para sacos, onde se necessita de alta resistência na folha e baixa permeância, para proporcionar a saída do ar durante o envase do cimento através da folha. A RAC é um processo complexo e composto de

três etapas: desaguamento da polpa a alta consistência, a refinação e a re-diluição da polpa refinada (figura 7.23).

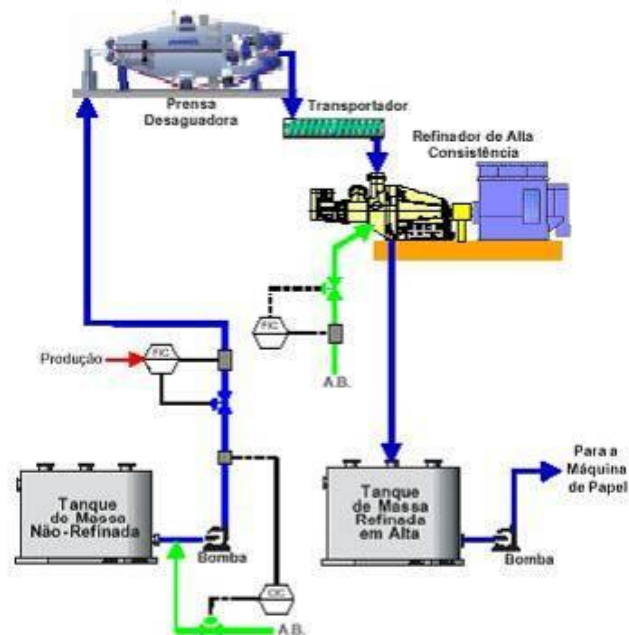


Figura 7.23 (FONTE: Influência da refinação em alta consistência em papéis “sack kraft”)

7.6. VARIÁVEIS IMPORTANTES NO CONTROLE DA REFINAÇÃO

Como mencionado anteriormente, durante a refinação, as fibras ficam submetidas à corte, fibrilação e hidratação. Porém, considerando papéis de características diferentes, a refinação de respectivas massas também deve ser conduzida de forma diferente. Além de consumo específico de energia, existem outros fatores ou variáveis que interferem no resultado final do refino.

7.6.1. Potência total

Cada refinador tem uma potência nominal instalada. Entretanto, esta potência não é totalmente utilizada; na prática, a potência total utilizada varia em função da corrente elétrica utilizada. Esta corrente é função da pressão específica dos refinadores, que por sua vez é função da aproximação do estator e rotor durante o processo de refinação. O cálculo desta potência pode ser dado pela seguinte equação:

$$P_t = \sqrt{3} * V * I * f_p * 10^{-3}$$

Onde:

P_t : potência total, kW

V: tensão, V

I: corrente, A

f_p : fator de potência (para nossos cálculos, vamos utilizar 0,85)

7.6.2. Potência em vazio

Carga em vazio (P_v) é a carga do refinador gasta pelo mesmo para rodar sem a massa, com água apenas e com discos afastados. Deve ser considerado de 10 a 20 % da potência total ou maior dependendo da necessidade do processo quanto à aplicação da carga específica. Dados estimados do consumo em vazio: holandesas (mais que 65 %), refinadores cônicos (30 a 45 %), refinadores cônicos de alto ângulo (25 a 35 %), refinadores a discos (10 a 30 %), tricônicos (12 a 25 %).

Nos refinadores a discos a potência em vazio diminui com o aumento no diâmetro dos discos. A potência em vazio é medida com a máquina em funcionamento e com fluxo total, porém sem aplicação de carga na massa.

Isto pode ser verificado facilmente na fábrica durante o início do funcionamento. Percebe-se que a amperagem se mantém praticamente constante durante boa parte da fase de aperto dos discos e repentinamente começa um acréscimo de amperagem acentuado. o ponto inferior deste gráfico mostra o consumo em vazio.

7.6.3. Potência líquida aplicada

A potência líquida aplicada ou potência útil de uma máquina, considera-se aquela que é aplicada totalmente a fibra, deduzindo a potência em vazio e a potência de reserva para cálculo da refinação.

$$P_u = P_t - P_v$$

Onde:

P_u : potência líquida aplicada, kW

P_t : potência total, kW

P_v : potência em vazio, kW

7.6.4. Quantidade de refino (Energia Específica de Refino: EER)

A quantidade de refino, mais conhecida como Energia Específica de Refino (EER), ou em inglês “Specific Energy Input (SEI)” é a quantidade de energia que é transferida efetivamente do motor do refinador para a fibra. A unidade de EER é kWh/t, e a fórmula para cálculo é dada por:

$$EER = \frac{(P_t - P_v) * T}{M}$$

Onde:

P_t : potência total aplicada (kW)

P_v : potência em vazio (kW)

T: tempo de referência (h)

M: produção de massa absolutamente seca (t = tonelada métrica)

De acordo com esta equação se a potência aplicada do motor é aumentada ou se o material em processo é reduzido, então a EER irá aumentar. A EER requerida para uma dada instalação é usualmente determinada com base na experiência histórica de uma dada fábrica. Até mesmo para os mesmos ou tipos similares, e a mesma fonte fibrosa e processo de polpação, duas fábricas de papel podem aplicar EER significativamente diferentes no sistema de refinação da preparação de massa. A tabela 7.01 mostra algumas faixas típicas de EER para diferentes tipos de papel e cartão.

Tipo de papel	Especificadamente	Net hpd/t	Net kWh/t
Papéis finos	“Hardwood Kraft”	2 a 5	40 a 100
	“Softwood kraft”	3 a 7	60 a 140
Lineboard (cartão)	Base	5 a 7	100 a 140
	Topo	10 a 12	200 a 240
Papel imprensa	“Softwood kraft”	2 a 5	40 a 100
	TMP/GWD	1 a 5	20 a 100
Papel para impressão (PAR)	“Softwood kraft”	3 a 7	60 a 140
	TMP/GWD	3 a 6	60 a 120

Tabela 7.01 (FONTE: Introduction to Stock Preparation Refiner – Finebar)

7.6.5. Energia efetiva requerida na refinação

O consumo específico representa, na realidade, a energia necessária para alterar a estrutura de uma fibra. Os valores são dados em kWh/t^{°SR} e são levantados empiricamente em laboratório de pesquisas.

Para o dimensionamento de um refinador para a preparação de massa é preciso antes de tudo calcular a energia efetiva requerida. Para o cálculo dessa energia efetiva requerida se faz necessário a realização de um teste de laboratório com o fim de conseguir um valor de kWh/t^{°SR}. Este valor quer dizer quantos kW são necessários para elevar em 1 °SR uma produção de 1 t/d. Sabendo-se que o valor de kWh/t^{°SR} da fibra em estudo para diferentes graus de refinação, podemos analisar e dimensionar a energia efetiva requerida para a refinação de acordo com a produção e diferencial de grau que se queira ter.

A equação para o cálculo da energia efetiva é muito simples como se pode verificar pela equação abaixo:

$$EEfR = \frac{EER}{(R_f - R_i)}$$

Onde:

EEfR: energia efetiva de refino

EER: energia específica de refino

R_i : grau de refino inicial, °SR

R_f : grau de refino final, °SR

7.6.6. Intensidade de refino (Carga Específica de Borda: CEB)

Já foi visto, anteriormente, a definição de CEB. Neste item será utilizada a equação abaixo para quantificá-la numericamente:

$$CEB = \frac{P_u}{L}$$

Onde:

CEB: Carga Específica de Borda, ws/m

P_u : potência líquida aplicada, kW

L: comprimento de lâminas que se entrecruzam por segundo, km/s

7.6.7. Tipos de fibra

Quanto ao tipo de fibra depende da origem, tipo de matéria-prima, grau de cozimento, tipo de secagem, etc. Devem ser consideradas aqui diferentes espécies arbóreas e também o processo pelo qual foram obtidas. Outro resultado é possível obter se refinarmos dois tipos de fibras distintas, por exemplo: “hardwood” e “softwood”.

Quando um refinador é usado em máxima eficiência então uma polpa “hardwood” irá requerer mais energia para alcançar propriedades equivalentes (especialmente resistência) para polpas “softwood”. Esta diferença de resistência é significativa. Como mostrado na figura 7.24, uma polpa “hardwood” de boa qualidade irá requerer acima de 100% mais de energia para alcançar o mesmo nível de resistência como uma polpa “softwood” de boa qualidade.

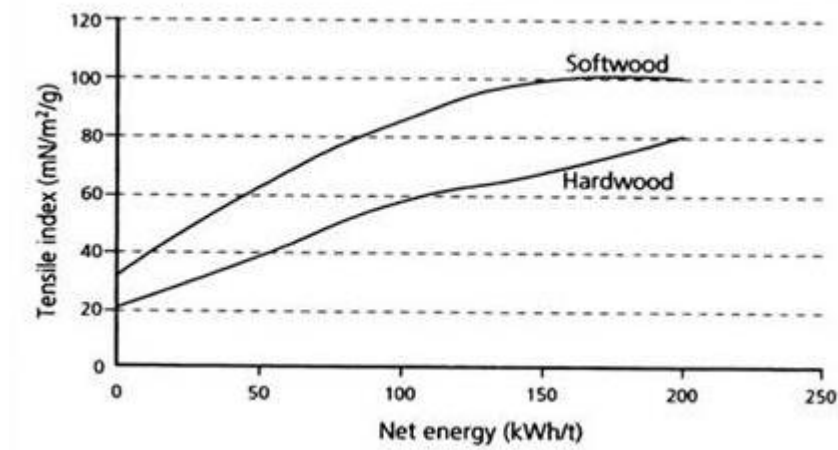


Figura 7.24 (FONTE: Refining Technology)

O tipo ou tipos de fibras de uma determinada massa para papel é a variável mais importante do processo de refinação. A maioria das massas contém mistura de fibras longas e curtas que em condições ideais deveriam ser refinadas separadamente. No entanto, através da prática deve-se chegar a um ponto ótimo com massas misturadas.

7.6.8. Consistência

Embora grande maioria de fabricantes trabalhe na faixa de 3,5 a 4,5%, para cada tipo de fibra, propriedades físicas do produto acabado e do sistema instalado na preparação de massa deve ser selecionada uma consistência própria. A consistência abaixo de 3,5% favorece corte de fibras e uma fibrilação externa, enquanto a consistência mais alta favorece uma fibrilação interna e melhor qualidade do produto. Podemos dizer que cerca de 90% das indústrias, trabalham com uma consistência neutra, 4,0 a 5,0%. Nesta faixa de consistência, o trabalho na fibra não favorece este ou aquele tratamento. Teoricamente, enquanto mais alta for a consistência, maior será o contato fibra x fibra e melhores seriam as características do papel final (figura 7.25).

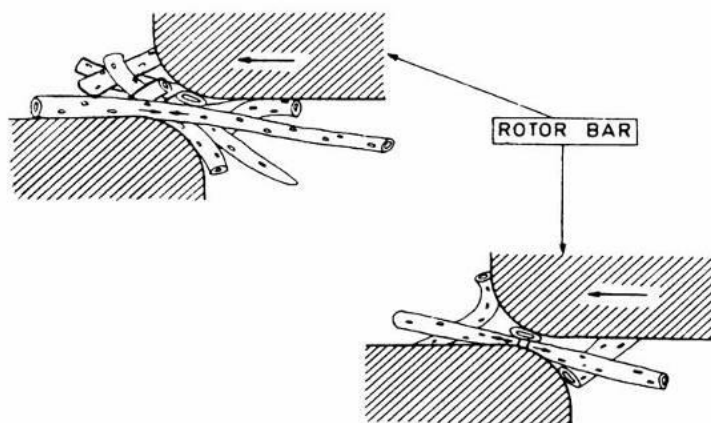


Figura 7.25 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

7.6.9. Vazão ou velocidade de massa

A vazão de massa no refinador é proporcional ao tempo de permanência no refinador, o que significa maior ou menor fração de tempo de refinação, a qual as fibras serão submetidas. Vazão e velocidade da massa no refinador: é da vazão que a velocidade de passagem da massa pelo refinador está diretamente ligada, pois com um mesmo aperto de disco, se for aumentada a vazão, a velocidade aumentará diretamente, visto que: $Q = V \cdot A$. O importante é selecionar uma vazão, conforme o tipo e arranjo dos refinadores disponíveis, bem como assegurar durante o processo um fluxo uniforme e sem turbulência.

7.6.10. Temperatura

É uma variável de importância, mas sem uma aplicação prática no processo de refinação. De toda energia aplicada no refino, apenas 30% são revertidos para o trabalho sobre as fibras. Entre 20 e 30% são gastos na recirculação de massa, 30% em acionamento e 20% na geração de calor. Por ser a refinação um processo mecânico, uma fração de energia consumida pelo refinador se transforma em calor por atrito entre as fibras, fibras e lâminas, água e lâminas, o que favorecerá um aumento de temperatura da massa. Entretanto, segundo alguns autores, o aumento da temperatura provocará uma diminuição da eficiência de refinação.

Com um aumento da temperatura, as paredes externas das fibras vão se tornando cada vez mais difíceis de serem destruídas, portanto, a dificuldade de hidratação e fibrilação das pastas em altas temperaturas tornam-se um inconveniente pelo alto consumo de energia que se requer. Podemos notar que este fato quando estão instalados mais de três refinadores em série, pelo aumento de temperatura que a massa sofre ao passar por cada refinador, os últimos refinadores da série recebem essa massa já com cerca, em alguns casos, 60 a 70 °C, o que faz com que estas máquinas trabalhem com baixo rendimento.

7.6.11. pH

Aumento de pH facilita a refinação, proporcionando uma pequena redução no consumo de energia e um tratamento mais eficaz das fibras. Num pH = 4,5 as fibras tornam-se mais rígidas e mais sujeitas aos cortes. Num pH em torno de 8,0 a 9,5 (por exemplo) as camadas externas da parede celular podem ser abertas mais facilmente, o que proporcionará uma hidratação mais rápida.

7.6.12. Pressão específica

Na prática, a pressão específica esta diretamente relacionada com o aperto entre os discos ou a carga aplicada. É uma variável de suma importância, pois, está relacionada com a energia específica de refinação (kWh/t). Pressão específica ou potência aplicada por área de refinação podemos dizer que é a pressão com que são apertados os discos, e é dessa pressão que temos uma maior severidade de refinação ou não.

As altas pressões específicas proporcionam um aumento de grau de refino rápido sacrificando a qualidade da massa, isto porque as fibras são submetidas a um tratamento de corte e uma fibrilação externa muito forte, produzindo uma grande quantidade de finos. A razão entre a incidência de corte acontece com pressões específicas altas é a de não formar o colchão de massa entre os discos e não haver contatos íntimos entre as fibras.

As baixas pressões específicas proporcionam uma refinação mais suave com um aumento gradual do grau de refino mantendo os comprimentos originais das fibras, hidratando e fibrilando sem prejudicar e sem criar finos. Como a pressão específica está ligada com a potência aplicada por área de refinação, quando um fabricante dimensiona a potência do motor ele está dimensionando indiretamente a pressão específica máxima que se pode aplicar.

7.6.13. Velocidade periférica

É uma variável importante, mas sem possibilidade de ser modificada na prática, já que na maioria dos casos, os motores de acionamento dos refinadores têm “rpm” preestabelecida e não variável. Na tabela 7.02 temos recomendações para a consistência e às velocidades periféricas, que devem ser aplicadas em refinamentos de baixa, média e alta consistência.

	REFINO BC	REFINO MC	REFINO AC
Consistência (%)	2 - 6	10 - 20	30 - 40
Velocidade periférica (m/s)	15 - 25	40 - 50	90 - 110

Tabela 7.02 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

Se forem observadas as rotações definidas para os refinadores em função do diâmetro dos discos (que por sua vez determina a potência nominal dos refinadores, tabela 7.03), verificar-se-á que à medida que o diâmetro aumenta, a rotação diminui, justamente para manter uma velocidade periférica dentro de uma faixa ótima de trabalho.

DIÂMETRO DOS DISCOS (mm)	500	600	700	900	1000	1200
POTÊNCIA (HP)	300	400	500	600	1000	1500
ROTAÇÃO (RPM)	1200	750	600	500	400	300

Tabela 7.03 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

Somente para informação, vamos analisar como essa variável se comporta para efeito de refino. Com o aumento da velocidade periférica, aumenta a hidratação e diminui o corte das fibras. Isso acontece pelo resultado do aumento do efeito bater ou número de impactos das lâminas sobre as fibras, ou seja, aumenta o comprimento de lâminas por segundo.

Sabe-se que velocidades baixas (abaixo de 20 m/s) tende a encurtar a fibra, enquanto que acima de 25 m/s o efeito predominante será a fibrilação e, entre ambas, será produzido um efeito misto. Entretanto, em velocidade muito alta (acima de 35 m/s) haverá um maior consumo de energia em vazio e se for exagerada, praticamente não se consegue o efeito de refinação.

7.6.14. Número e largura das barras (e das ranhuras)

O número e a largura das barras ambos representam um importante papel para a determinação da intensidade de refinação. Quanto maior for o número de barras, isto é, bordas de barras, maior é a extensão da refinação e mais branda a ação de refinação.

Isto é porque a ação de um refinador é acredita-se ocorrer quando as fibras são ‘grampeadas’ sobre a borda da barra como mostrado na figura 726. Também tem sido postulado que a ação da superfície das bordas das barras é mais de sete vezes maior que a ação da superfície da borda para guarnições normais (estes com iguais larguras de barra e ranhuras).

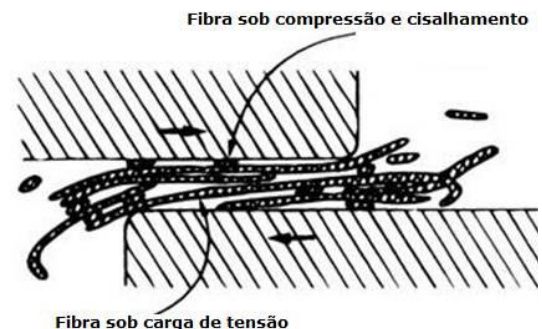


Figura 7.26 (FONTE: Refining Technology)

O uso de grande número de barras aumenta a taxa de desenvolvimento de resistência e, onde a resistência é crítica, reduz o uso de energia. O número de barras e largura afeta as características de fluxo e tempo de residência na zona de refinação a qual, em troca, afetará também requisitos de energia.

Quando classificando segundo o tamanho e escolhendo os refinadores, o tipo de guarnição e número de barras dependerá do tipo de fibras a serem tratadas. Polpas “kraft softwood” exigem menos barras para aumentar a intensidade de tratamento. Polpas “kraft hardwood” exigem mais barras para reduzir o incidente de encurtamento das fibras.

7.6.15. Ângulo de corte e de cruzamento

A inclinação de lâminas em relação ao raio do disco forma o chamado ângulo de inclinação. Quando os segmentos do disco móvel são opostos aos segmentos do disco fixo, as suas lâminas ou barras formam entre si um ângulo, denominado de intercessão ou ângulo de corte.

Na Figura 7.27 podemos observar os dois ângulos: de inclinação α e de intercessão β . A grandeza desse ângulo é uma variável importante, já que todo trabalho de refinação está realizado nas arestas das lâminas que formam o dito ângulo.

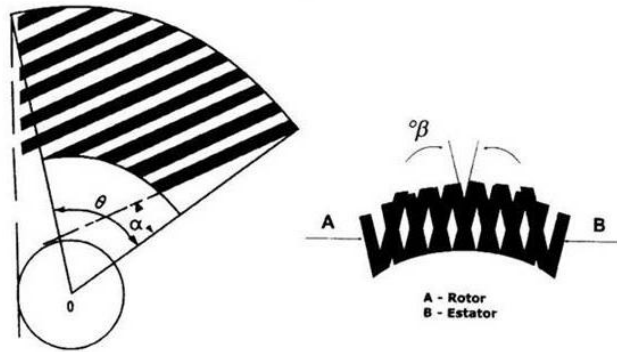


Figura 7.27 (FONTE: Refining Technology)

Enquanto maiores ângulos favorecem a fibrilação e hidratação de fibras, os menores facilitam o corte das fibras.

Há algumas discussões sobre a influência do ângulo de corte na CEB. Se considerar-se uma guarnição com a mesma largura de barra e ranhura, mas com diferentes ângulos, a guarnição terá uma geometria diferente e as características operacionais irão modificar como mostradas na tabela 7.04. Dado que um papeleiro tenha interesse para modificar ângulo por razões de fluxo quando as proporções da massa (“furnish”) são modificadas, poderia parecer que uma idêntica guarnição tem modificado o tratamento da fibra por causa do ângulo. A modificação no tratamento é verdadeiramente devido à modificação na intensidade de refinação por causa dos diferentes cargas específicas de borda (CEB). Portanto, uma mudança de discos de 5° para 15° irá criar uma significativa diferença em CEB, enquanto parecendo dar um efeito puramente devido a uma mudança em ângulo que não é levado em conta pela teoria.

Ângulo	CEL (km/s)	SEL (Ws/m)
5	102	2,9
10	125	2,4
15	165	1,8

Tabela 7.04 (FONTE: Refining Technology)

7.6.16. Material e fechamento entre lâminas

Os revestimentos para refinadores podem ser obtidos pelos seguintes processos mais usuais:

- Revestimentos usinados como é o caso de discos fresados;

- Revestimentos fundidos;
- Revestimentos com lâminas soldadas.

O processo mais econômico e versátil de fabricação de revestimento é o processo especial de lâminas soldadas. As lâminas podem ser de aço inoxidável ou carbono. Normalmente, a fabricação é feita com lâminas de aço inoxidável sustenítico, da série AISI-300 ou similares de acordo com os casos. Porém em casos especiais, onde as características de refinagem exigem, são utilizados discos de basalto.

O material das lâminas é um aço inox austenítico, da série AISI-300. A dureza desse material é feita pelas compactações progressivas a frio, atingindo 400 a 500 pontos de dureza Brinell. O importante, no caso, é utilizar a qualidade de material resistente, que desgasta uniformemente, sem fazer a rebarba como mostra figura 7.28.

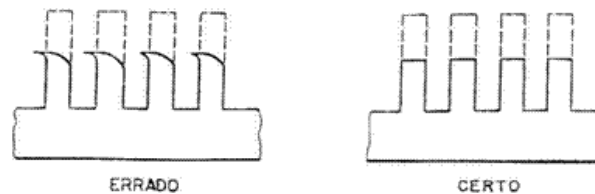


Figura 7.28 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

7.6.17. Arranjo dos refinadores

Os refinadores nos sistemas de preparação de massa podem ser instalados de várias formas. Essas instalações poderão ser definidas com refinador recirculando a massa em um tanque até ser atingido o grau necessário. Dessa maneira instalado, estaríamos trabalhando intermitentemente por cargas a preparar. Quando o trabalho for contínuo com mais de um refinador, estes podem trabalhar em série ou em paralelo. Neste trabalho vamos nos prender apenas em dar as vantagens ou desvantagens de cada tipo de arranjo (tabela 7.05). A figura 7.29 mostra um sistema de três refinadores onde é possível fazer arranjos em série, em paralelo e em série-paralelo.

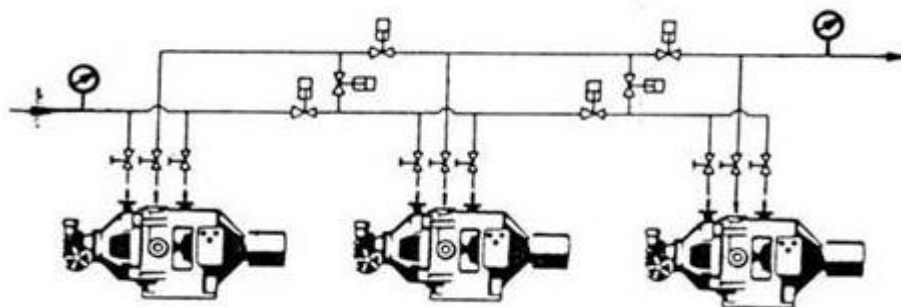


Figura 7.29 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

	Arranjo em série	Arranjo em paralelo
Vantagens	<p>Pressão específica pode ser mais baixa, uma vez que as fibras passarão por mais de um refinador.</p> <p>O grau de refino poderá ser melhor controlado, uma vez que se pode ajustar e manter os refinadores trabalhando em condições semelhantes.</p> <p>Recomendado para quando se deseja obter altos graus de refinação.</p>	<p>Aumento de temperatura gradual ao passar por cada refinador podendo alcançar temperatura indesejável nos últimos refinadores.</p> <p>Cuidados na operação para garantir que os refinadores estejam trabalhando em condições de aperto, pressões de entrada e saída iguais.</p> <p>Não recomendado para baixos graus de refino e grandes produções.</p>
Desvantagens	<p>Maior facilidade para controlar pressões de entrada e saída.</p> <p>Pela vazão ser menor, por estar dividida, há uma retenção maior da massa nos discos.</p> <p>Recomendados para grandes produções e baixo grau de hidratação.</p>	<p>A alimentação deve ser bem dimensionada, dividindo o fluxo pelas linhas.</p> <p>Requer maior pressão específica.</p>

Tabela 7.05 (FONTE: SENAI CETCEP)

7.6.18. Outras variáveis de refinação

Há ainda outras variáveis de refinação que não foram apresentadas neste curso devido a sua complexidade e necessidade de serem tratadas em um curso específico de refinação. Mas, as mais importantes foram aqui apresentadas como fundamento básico para o presente curso.

7.7. VARIAÇÕES NO PROCESSO DE REFINAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE PAPÉIS

As modificações nas propriedades das fibras decorrentes da refinação são os seguintes (figura 7.30):

- A resistência à drenagem aumenta;
- A resistência à tração, rigidez, estouro, resistência interna (“Internal Bonding Strength”) aumentam;
 - A resistência ao rasgo das fibras longas aumenta levemente no início, e diminui com mais refinação; com fibras curtas aumenta significativamente no início e depois cai;
- A permeabilidade, “bulk”, opacidade, coeficiente de refração da luz diminuem;
- A alvura diminui levemente.

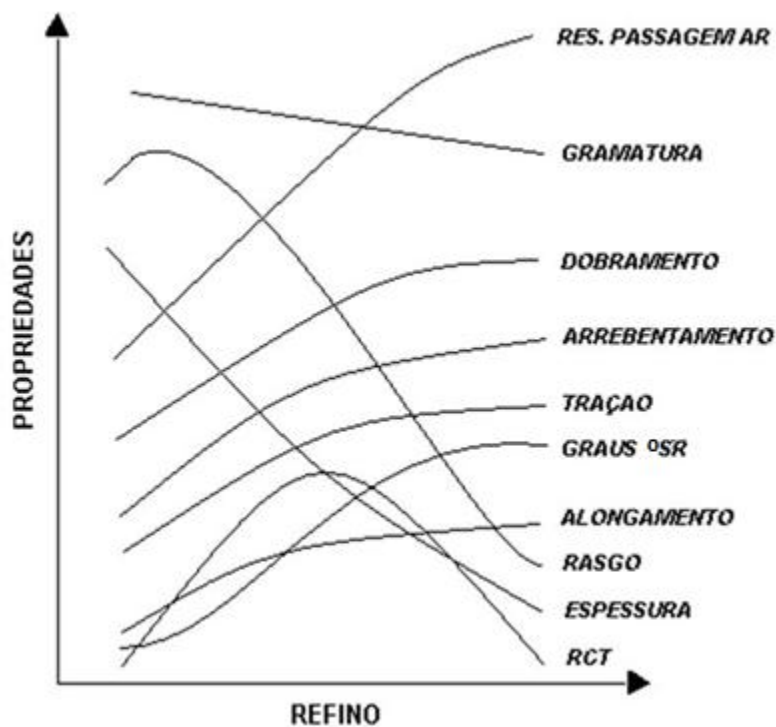


Figura 7.30 (FONTE: Apostila “O processo de produção de papéis” – ABTCP/UFV)

As propriedades de resistência incluem resistência à tração, ao rasgo, ao arrebentamento, às dobras etc. A resistência à tração é importante para papéis que são fornecidos sob a forma de bobinas e que são ‘tracionados’ durante sua utilização, como é o caso dos papéis ofsete e clichê para impressão gráfica em geral, e o papel imprensa para impressão de periódicos, por exemplo.

As propriedades óticas do papel são também importantes para impressão gráfica, principalmente pelo fato da qualidade da impressão depender significativamente de fatores como tonalidade e opacidade, por exemplo, mas são importantes para outros tipos de papéis tais como os sanitários (“tissue”), onde a aparência visual normalmente é atribuída às questões higiênicas pelos clientes finais. As propriedades superficiais, por sua vez, também têm relação com sua utilização final. Uma folha bastante lisa reproduz melhor uma imagem impressa, no caso dos papéis para impressão; uma folha de papel macia é mais desejada pelas pessoas que utilizam lenços de papel, papel higiênico, papel toalha e outros cuja função está relacionada a um contato direto com a pele.

Enfim, as especificações de cada tipo de papel relacionadas às suas propriedades, as quais seguem a sua finalidade de aplicação ou processamento, dependem principalmente do material fibroso, mas podem ser melhoradas pela utilização das matérias primas não fibrosas ou pela tecnologia de fabricação do papel que inclui a preparação de massa, máquina de papel e conversão. No presente item, a ênfase será dada tão somente ao material de origem fibrosa e o que pode ser feito numa etapa da preparação de massa, denominada refinação, para que possa cumprir sua finalidade como produto papel.

Como foi dito anteriormente, existem outras propriedades do papel além daquelas ligadas aos esforços físicos; sabe-se, por exemplo, que se desejarmos uma folha de papel mais

transparente, isto é, com baixa opacidade (propriedade óptica), poderemos refinar as fibras até um alto nível de refino, onde pela pelo rompimento acentuado das paredes constituintes da fibra, haverá uma maior facilidade de passagem dos raios luminosos e, portanto, o desenvolvimento da propriedade que desejávamos.

Estas propriedades são mais ou menos importantes para cada tipo de papel a ser fabricado. Por exemplo:

- Papéis para embalagem: resistência ao rasgo, resistência ao estouro, rigidez;
- Papéis para imprimir e escrever: opacidade, “bulk”, alvura;
- Papéis imprensa: resistência à tração, opacidade;
- Papéis “tissue”: maciez.

7.8. AVALIAÇÃO DA REFINAÇÃO

A propensão de uma pasta à refinação pode caracterizar-se pela energia específica (ou o tempo) necessária para alcançar um determinado grau de refinação, empregando um determinado material.

O grau de refinação pode ser avaliado mediante medidas sobre a suspensão fibrosa (por exemplo, °SR, I.R.A., etc.), características físicas da pasta (por exemplo, superfície específica da fibra), propriedades mecânicas do papel, etc. Os aparelhos “Schopper Riegler” e “Freeness” (figura 7.31) são utilizados para medição do grau de refinação, indicado pelo grau de drenabilidade de uma suspensão aquosa de fibras; o primeiro apresenta seu resultado em °SR (graus Schopper Riegler), enquanto o segundo o apresenta em CSF (“Canadian Standard Freeness”).

O efeito da refinação pode ser avaliado, também, pelo I.R.A. (Índice de Retenção de Água) ou, em inglês, W.R.V. (“Water Retention Value”, o qual prediz o comportamento do desaguamento de uma suspensão de fibras).

O método consiste na determinação da quantidade, expressa em percentagem, de água retida em 1 g de pasta, absolutamente seca, suspensa em água (10% de consistência), após centrifugação a 900 g, sendo “g” a aceleração da gravidade, por 30 min.

Neste ensaio, durante a centrifugação, somente a água retida nos capilares formados entre as fibras é eliminada da pasta, ficando retida a água situada no lúmen e nas paredes das fibras. O valor medido está relacionado com a plasticidade das fibras. A fórmula para determinação do I.R.A. é a seguinte:

$$\text{I.R.A.} = (\text{massa de pasta após centrifugação} - \text{massa de pasta seca}) * 100 / \text{massa de pasta seca.}$$

Para uma determinada pasta celulósica tipo sulfato, por exemplo, 36 °SR corresponde a 189% I.R.A.

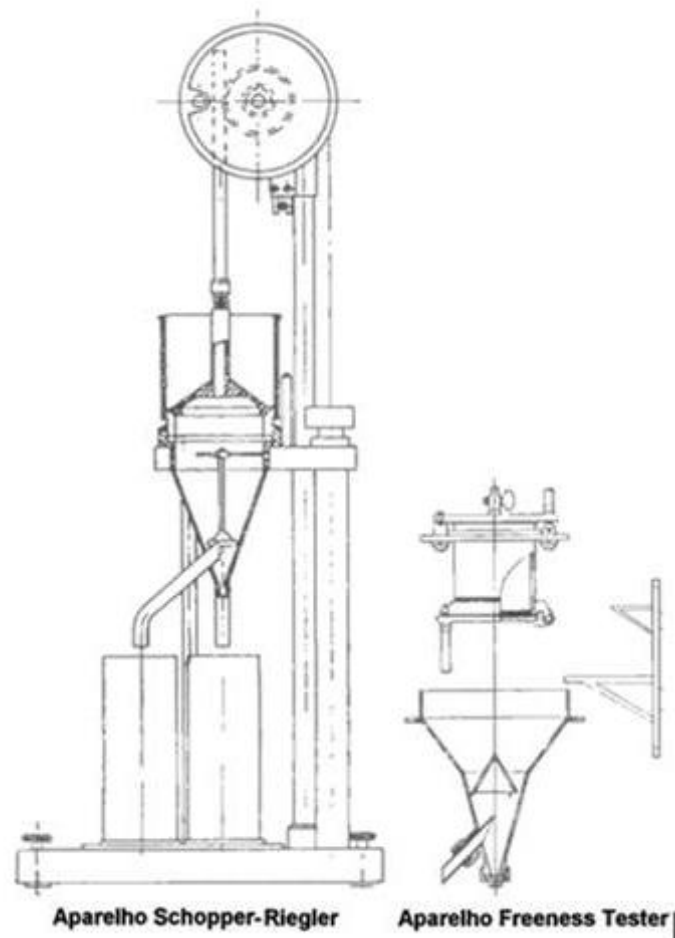


Figura 7.31 (FONTE: Tecnologia de Fabricação de Papel – SENAI/IPT)

8. CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO (“APPROACH FLOW”)

8.1. INTRODUÇÃO

O circuito de aproximação corresponde ao elo entre a área da preparação de massa e a unidade de formação da máquina de papel. Sua função básica é o transporte da suspensão até a máquina, proporcionando um fluxo estável, homogêneo e limpo. Dele, fazem parte os sistemas de alimentação de massa grossa (caixa de nível, válvula de gramatura, etc.), e de diluição, “centricleaners”, de peneiras pressuzadas e de controle de fluxo. Trata-se de um conjunto essencial para a fabricação de um produto de boa qualidade. Este conglomerado de equipamentos estáticos e dinâmicos de vários fornecedores deve funcionar junto em todas as faixas de gramatura e velocidades da máquina de papel. Parâmetros como perfil longitudinal de gramatura, formação da folha, ausência de contaminantes no papel podem ser influenciados e controlados através do circuito de aproximação. Fenômenos como flutuações

de consistência e/ou de fluxo, pulsações hidráulicas, vibrações mecânicas, admissão de ar, velocidades inadequadas no interior das tubulações e acabamento inapropriado das superfícies internas das mesmas, influenciarão negativamente os parâmetros acima.

Portanto, um circuito de aproximação bem projetado deverá oferecer condições para que tais fenômenos não ocorram ou sejam minimizados, a níveis não prejudiciais à qualidade desejada. A figura 8.01 mostra um esquema típico de circuito de aproximação.

O sistema de aproximação pode ter um significativo impacto no desempenho da máquina e na qualidade do papel, portanto deve ser considerado importante como qualquer outra parte da máquina de papel.

Um sistema corretamente projetado deve ter:

- Estabilidade de fluxo e controle satisfatório;
- Boa mistura e dispersão de fibras;
- Sistema de limpeza e facilidade para lavagem.

A folha de papel com maior qualidade e as melhorias havidas nas máquinas de papel, resultaram em sistemas de aproximação cada vez mais complexos. Caixas de entrada hidráulicas, alta velocidade nas máquinas e melhoria nas características da folha, formaram o sistema de aproximação a incluir múltiplos estágios de separadores centrífugos, depuração e melhor controle do ar contido no fluxo de massa. A figura 8.02 mostra uma parte do circuito de aproximação com a inclusão de um “decuator” para retirada do ar da massa.

Os sistemas de aproximação utilizados atualmente variam desde sistema com simples diluição com apenas depurador até complexos arranjos com múltiplas camadas e sistemas com dupla diluição com depurador e separadores ou sistema de dupla diluição com depurador, separadores e desaerador. Alguns desses sistemas facilmente adaptados ao controle da caixa de entrada, usando bombas de mistura com velocidade variável e outros são mais adaptados ao controle por “by pass”.

A melhor maneira de evitarem-se problemas seria iniciar com um bom projeto. Como nem sempre isso é possível, pois uma vez tendo o problema no sistema de aproximação, a fonte precisa ser encontrada, o que nem sempre é muito fácil. Alguns dos mais frequentes problemas encontrados na máquina de papel serão tratados aqui.

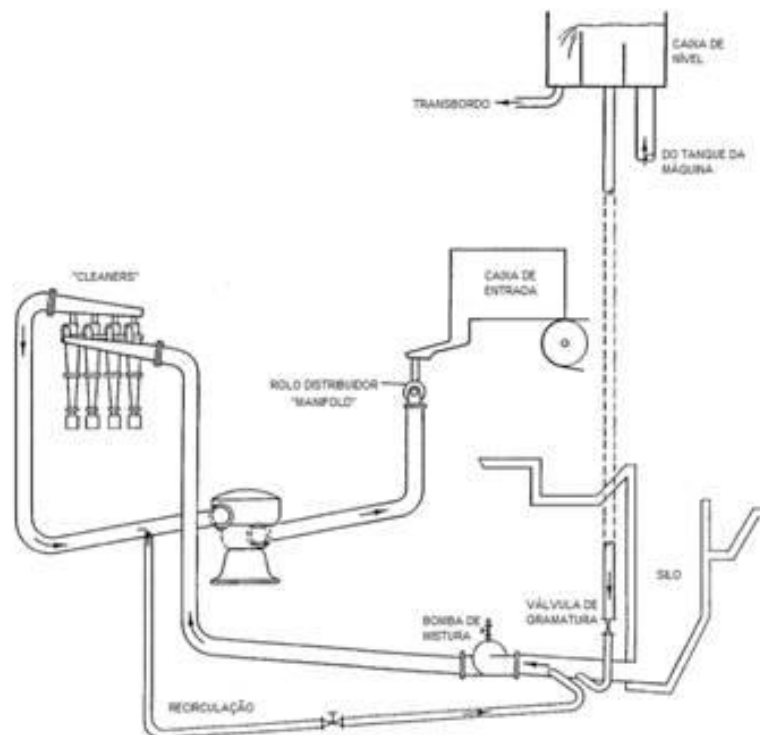


Figura 8.01 (FONTE: Apostila “Approach flow” – Curso Técnico de Cel. Papel – Guaíba, RS)

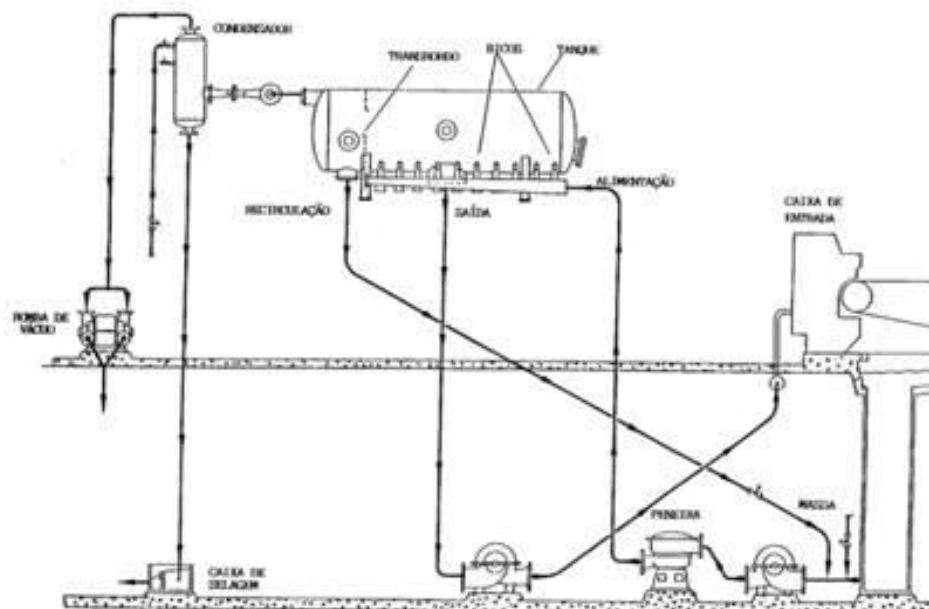


Figura 8.02 (FONTE: Apostila “Approach flow” – Curso Técnico de Cel. Papel – Guaíba, RS)

9. MÁQUINA DE PAPEL (GERAL)

9.1. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA MÁQUINA DE PAPEL (MP) E COMENTÁRIOS SOBRE OS DIFERENTES TIPOS DE MÁQUINAS.

Para iniciar o estudo das máquinas de papel, será uma máquina do tipo “Fourdrinier” mostrada na figura 9.01. A função básica da máquina de papel, que é remover a água da folha, é feita, fundamentalmente, em três setores que operam baseados em diferentes princípios, como segue:

- Mesa de formação: desaguamento utilizando as características hidrodinâmicas do líquido;
- Prensas úmidas: desaguamento por compressão mecânica;
- Seção de secagem: desaguamento por evaporação, por meio do fornecimento de calor nos cilindros secadores.

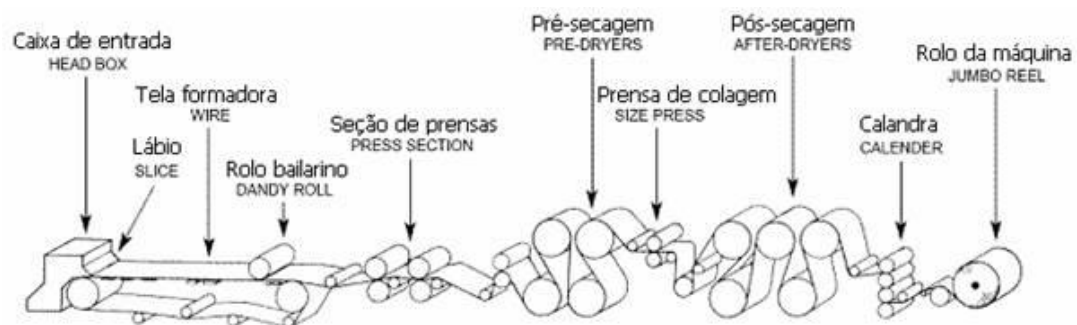


Figura 9.01 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

A pesar da descrição dos setores da MP feita acima, neste curso consideraremos a caixa de entrada como elemento inicial da máquina de papel, diferente de alguns autores que preferem referir-se a ela como um elemento intermediário ao “approach flow” e a máquina de papel, propriamente dita. A caixa de entrada é um elemento situado antes da unidade de formação da folha de papel, e está encarregada de fornecê-la um jato de suspensão fibrosa de geometria laminar.

A operação que se realiza na caixa de entrada consiste em transformar o fluxo circular da pasta procedente da bomba de diluição em um fluxo retangular, cuja largura é definida em função da largura da máquina de papel, ao mesmo tempo em que lhe imprime uma velocidade uniforme. Esta operação é de fundamental importância, dado que a formação e uniformidade do papel formado dependem de uma dispersão uniforme das fibras e outros constituintes do papel, pelo que os objetivos da caixa de entrada são de estender a pasta uniformemente e igualar os fluxos e a consistência ao largo da máquina de papel, criar a turbulência adequada para evitar a floculação das fibras e descarregar um fluxo constante de pasta com um ângulo correto sobre a máquina de papel.

As caixas de entrada são constituídas por diferentes elementos: tubo distribuidor, dispositivos para igualar velocidades e para geração de turbulência, e dispositivos de formação do jato. Pode-se distinguir entre caixas de entrada abertas e pressurizadas, podendo ser estas com colchão de ar ou hidráulicas (totalmente cheias de líquido).

A formação da folha de papel consiste, basicamente, na operação de filtração. O jato de suspensão fibrosa procedente da caixa de entrada, com uma consistência que depende do tipo de papel ($< 1,5\%$), deposita-se sobre o suporte de formação, constituído por uma tela sintética que possui um tamanho de malha da mesma ordem de magnitude que as fibras utilizadas. A partir deste momento, é exercida de uma maneira contínua ou descontínua uma diferença de pressão no ângulo da suspensão fibrosa, fazendo com que uma grande parte da água que acompanha o jato de entrada seja eliminada por filtração, restando às fibras entrelaçadas entre si, formando um manto ou colchão mais ou menos estratificado.

Industrialmente utilizam-se, atualmente, diferentes tipos de unidade de formação: mesas planas, formadores de tela dupla (figura 9.02), formas redondas (figura 9.03) e híbridos (mesas planas com uma tela de formação superior). A figura 9.04 mostra uma máquina de papel com um formador híbrido em que aparece também a capota da seção de secagem, uma calandra com dois rolos e o “scanner” que mede algumas propriedades da folha e as apresenta sob a forma de perfis.

Os formadores de forma redonda são utilizados normalmente para a fabricação de cartões com várias camadas (com matérias primas fibrosas diferentes ou não) ou para cartões de com gramatura elevada. Este efeito pode ser obtido também com a utilização de várias mesas planas como mostra a figura 9.05 (que pode ser utilizado também para papelão corrugado, com menos telas formadoras), ou uma mistura de forma redonda e mesa plana como mostra a figura 9.06. São casos curiosos como este último que tornam difícil uma relação de todos os tipos diferenciados de formadores que existem atualmente.

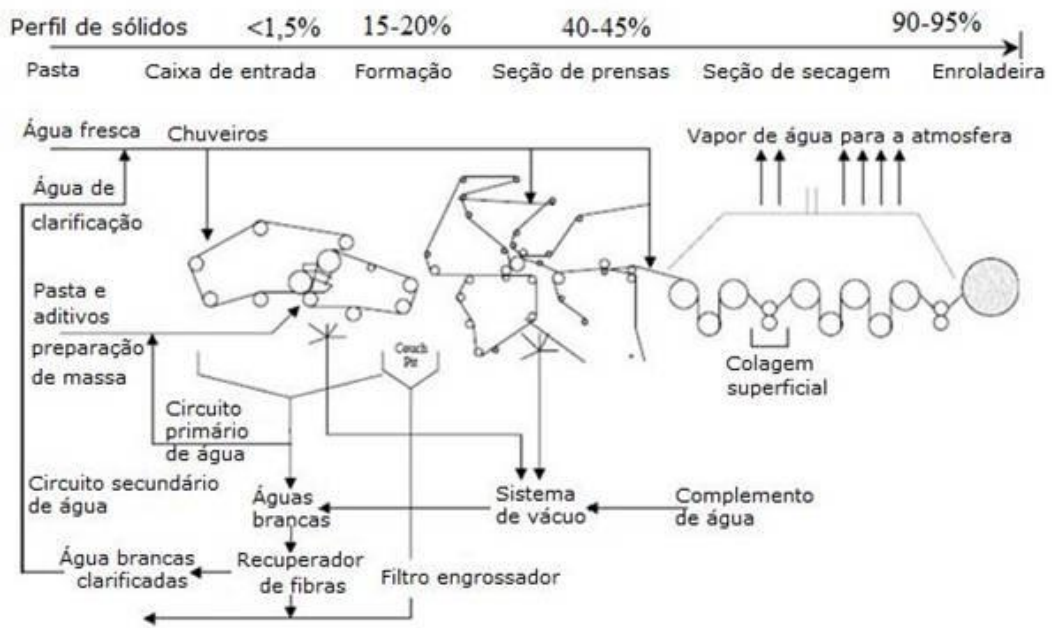


Figura 9.02 (FONTE: www.ihobe.es)

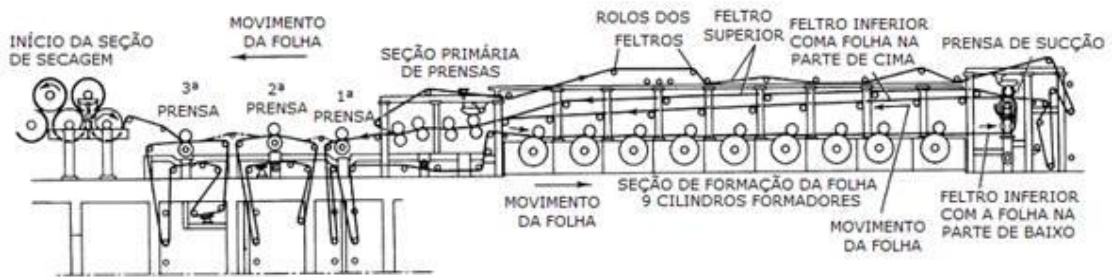


Figura 9.03 (FONTE: Pulp and paper manufacture)

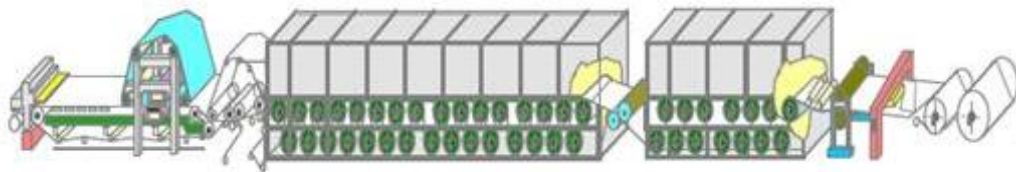


Figura 9.04 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

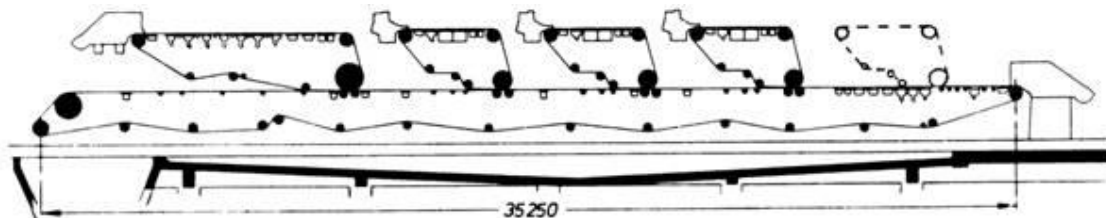


Figura 9.05 (FONTE: Papier Taschenbuch)

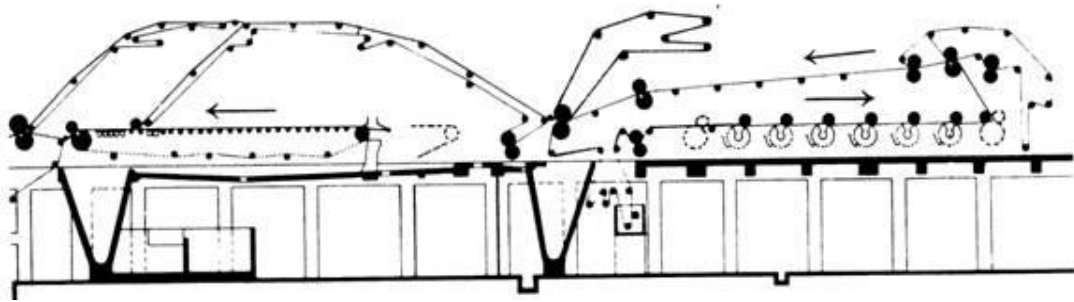


Figura 9.06 (FONTE: Papier Taschenbuch)

Há alguns tipos de formadores, por exemplo, que ao invés de duas telas, usam uma tela e um feltro já na formação da folha como é o caso das máquinas “crescent former” para “tissue” (figura 9.07).

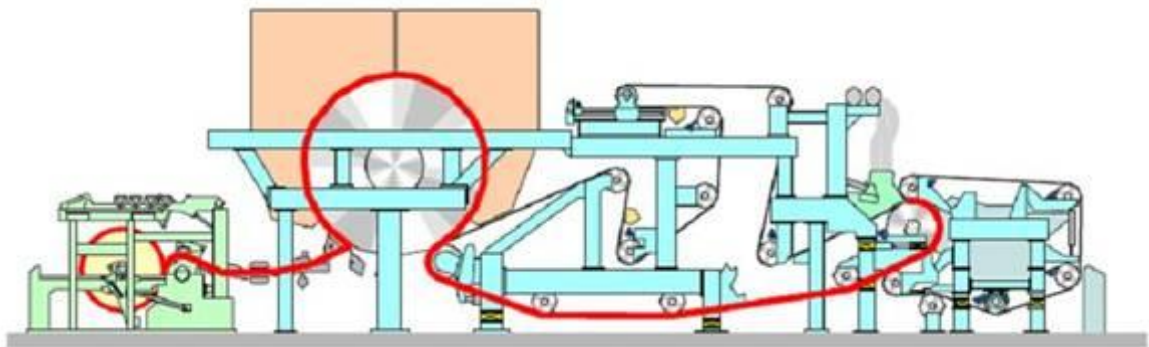


Figura 9.07 (PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2, Drying)

Em mesas planas, o suporte de filtração constitui uma tela sem fim que se desloca por cima de uma série de dispositivos que eliminam água da suspensão fibrosa até conseguir uma estrutura formada por fibras entrelaçadas, compactas e com um grau de umidade o suficientemente pequeno, como para permitir o traslado à operação posterior, que se produz nas prensas, de onde se continua eliminando umidade.

Com efeito, a folha de papel que sai do formador com uma umidade aproximada de 75 a 80%, passa em seguida à seção de prensas, de onde é realizada a operação de prensagem. Os objetivos primordiais desta operação são os de eliminar água e consolidar a folha, ainda que também o prensado fornece lisura, reduz o “bulk” e proporciona maior resistência (tração e rasgo) à folha úmida para um melhor traslado desta folha para a seção de secagem ou secaria. A prensagem influi em outras propriedades da folha tais como resistência ao arrebentamento, comprimento de ruptura, alongamento, rigidez etc.

Nas prensas, a folha de papel é submetida a uma pressão entre prensas giratórias, conjuntamente com um feltro existente entre elas. Nesta operação, parte da água do papel passa ao feltro, sendo posteriormente retirada deste por vácuo, até alcançar uma umidade da folha da ordem de 50 a 60%.

A operação de prensagem é muito interessante do ponto de vista econômico, já que a eliminação de água nesta parte da máquina de papel é muito mais barata do que quando se realiza mediante secagem por evaporação.

A dificuldade de extração de água aumenta a cada seção e, por conseguinte, os custos para extração. A tabela 9.01 e a figura 9.08 contêm alguns parâmetros médios das máquinas, onde se pode comparar os custos e as participações de cada seção no desaguamento da folha.

ZONAS	Conteúdo de seco na entrada	Conteúdo de seco na saída	Porcentagem de água eliminada
Mesa Plana e Duoformer	1%	18%	95,4%
Seção de Prensagem	18%	42%	3,2%
Seção de Secagem	42%	94%	1,4%

Tabela 10.01 (FONTE: Apresentação ALBANY / ABTCP)

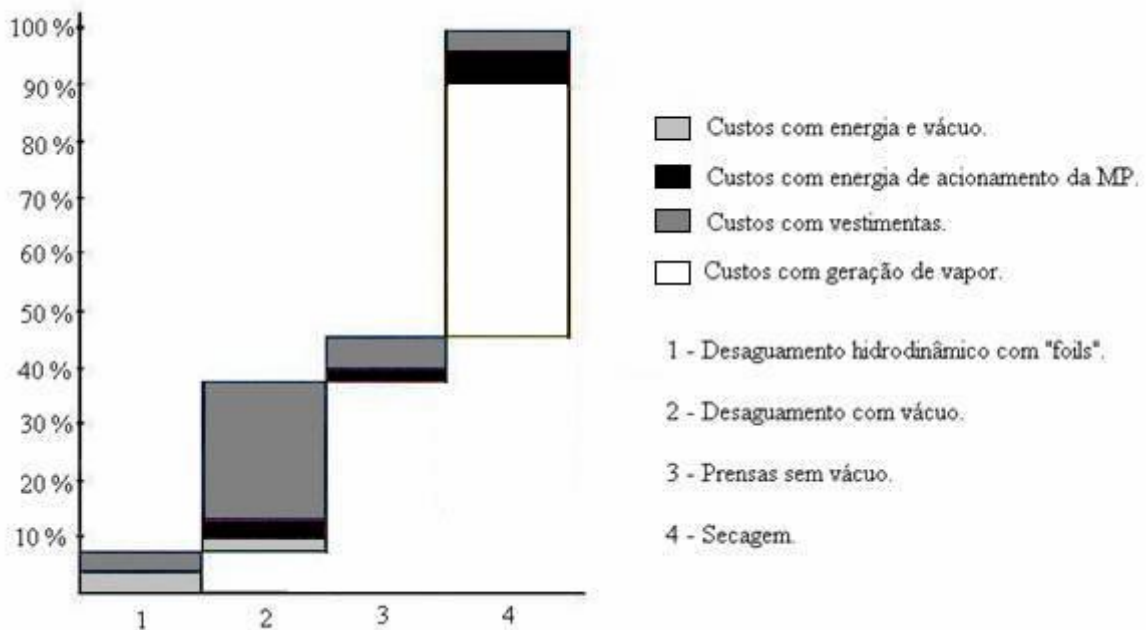


Figura 9.08 (FONTE: Apresentação ALBANY / ABTCP)

Como indicado na figura 9.08, se pode observar que a seção de secagem é a seção onde se extrai a menor quantidade de água da folha e apresenta o maior custo operacional. A eliminação da água remanescente somente se conseguirá mediante o aporte de calor na secaria. Esta água é a mais difícil de remover, pois, a mesma se encontra entre as fibras da

folha, e a força de coesão entre as moléculas de água dificulta extremamente sua retirada da folha de papel.

Nesta operação de secagem, acaba-se de eliminar a água do papel até alcançar um humidade definitiva situada entre 5 e 7%. Esta operação realiza-se normalmente pondo em contato a folha de papel úmida com a superfície exterior de uns cilindros de fundição (secadores) que estão aquecidos interiormente com vapor. Para melhorar o contato da folha de papel com a superfície quente dos cilindros, usam-se telas secadoras em alguns casos.

Outros casos como quando há a presença do cilindro “Yankee” (figura 9.09) para papéis “tissue”, por exemplo, não há a presença de telas secadoras. Diferentemente das máquinas de multicilindros, nestas máquinas há ainda uma raspa de crepagem que confere ao papel as propriedades necessárias de maciez e absorvência, tão importantes para este tipo de papel.

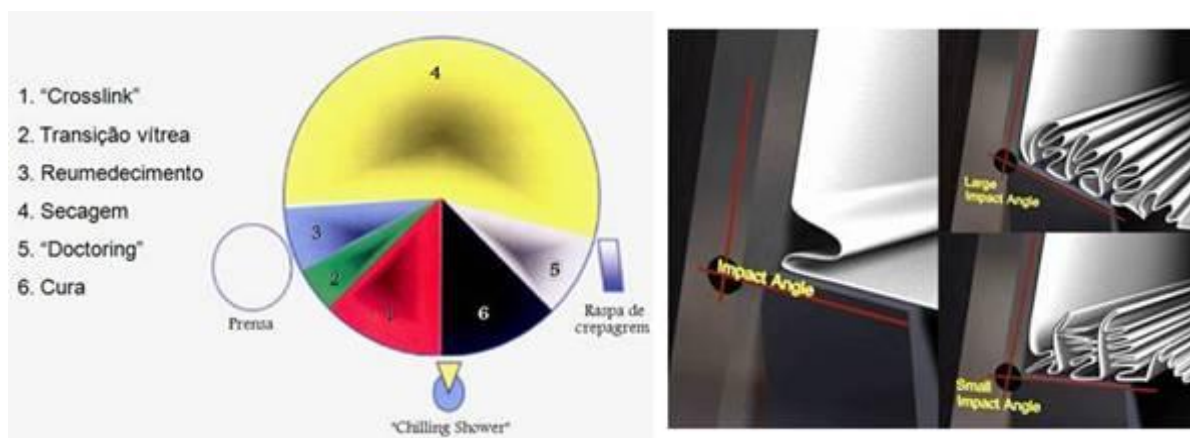


Figura 9.09 (FONTE: Tissue World)

Falando ainda de máquinas que fabricam papel “tissue” há algumas máquinas atuais que fogem da concepção consagrada de fabricação deste tipo de papel. É o caso das máquinas dos tipos TAD (“Through-air Drying”) (figura 9.10) e ADT (“Air Dried Tissue”) (figura 9.11).

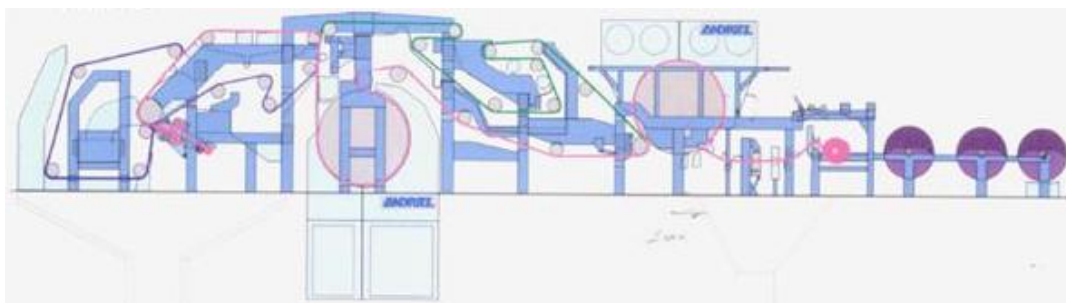


Figura 9.10 (FONTE: Tissue World)

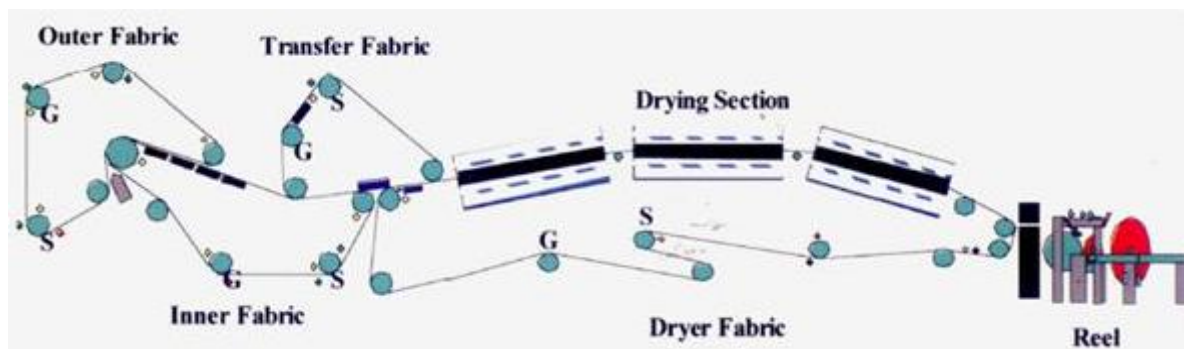


Figura 9.11 (FONTE: Tissue World)

Há outras máquinas que possuem o cilindro “Yankee” e outros cilindros, concomitantemente, como é o caso das máquinas de papel para papéis monolúcidos (figura 9.12) em que o lado do papel que entra em contato direto com a superfície do cilindro “Yankee” desenvolve uma lisura e brilho bastante significativos. Como trata-se apenas de um lado com estas características, este é o motivo para este papel ser chamado de monolúcido.

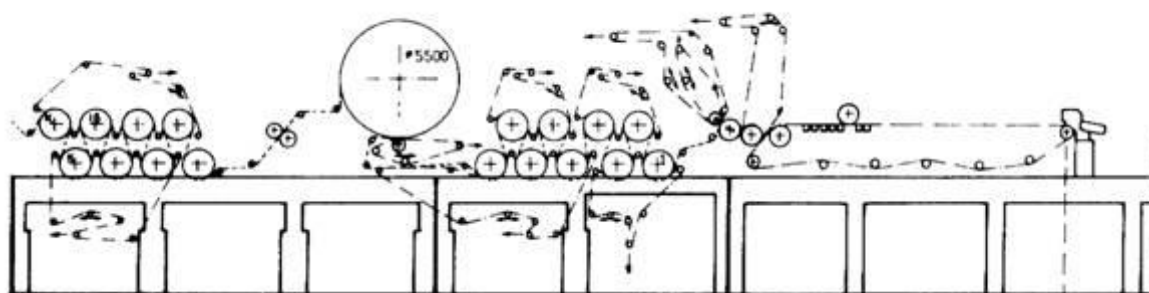


Figura 9.12 (PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2, Drying)

Na fabricação de sacos para cimento, cal etc. utiliza-se papel “sack kraft” extensível, o que assegura uma maior absorção de energia por parte da embalagem e, em consequência, uma maior resistência. Isto permite que os papéis de gramaturas relativamente baixa possam ser usados satisfatoriamente com as exigentes condições de manipulação à que são submetidas normalmente as embalagens deste tipo.

Além de utilizar somente fibras virgens de *Pinus spp* para obter um papel especializado com alta resistência é muito importante seu processo de fabricação, o que deve incluir uma refinação em alta consistência e uma prensa “Clupak” (que se localiza normalmente entre a pré e a pós-secagem).

Mediante o processo “Clupak” (figura

9.13) é possível obter papéis denominados extensíveis, com uma maior elasticidade, o que permite que os sacos sejam capazes de absorver uma quantidade muito maior de energia sem romper-se. Este processo consiste em gerar microdeformações no papel, invisíveis a olho nú, que lhe forneça uma maior alongação perante forças externas.

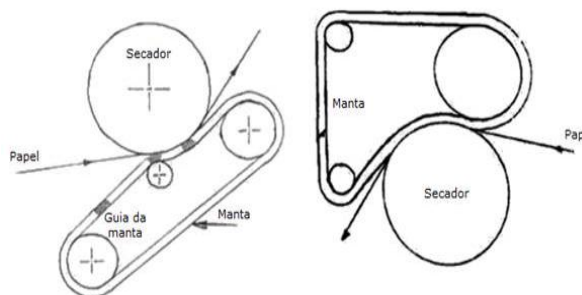


Figura 9.13 (FONTE: www.infomipyme.com)

Algumas máquinas apresentam o sistema “single tier” de secagem que consiste de apenas uma fila de cilindros secadores na posição superior e uma fila de cilindros de sucção na posição inferior, diferente do “doble tier” (mais tradicional), onde há duas filas de cilindros. Na figura pode-se ver também algumas adaptações à secagem com conceitos diferentes dos sistemas tradicionais de secagem e, adicionalmente, sistemas de acabamento “on machine” (figura 9.14).

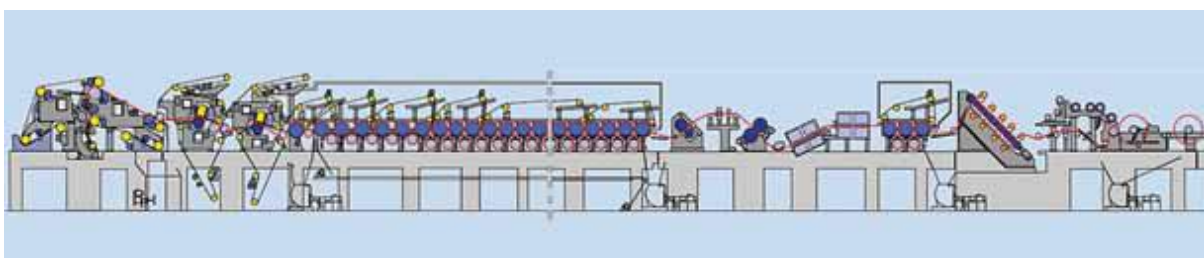


Figura 9.14 (HOLIK, H., Retrospectiva de 100 anos de progresso na fabricação de papel)

Uma vez passando pela secaria, as fibras estarão unidas, convertendo-se finalmente no que consideramos papel. Em algumas ocasiões, quando requer-se um papel brilhante, ou com uma lisura especial, isto se consegue prensando a folha entre dois rolos chamados de ‘lisas’, fase final de obtenção da folha. Outra aplicação das ‘lisas’ é a de melhorar a espessura da folha mediante pressão. Finalmente, o papel fabricado enrola-se na enroladeira “Pope” em grandes bobinas para posterior utilização em bobinadeiras que definem o formato (largura e diâmetro) final conveniente a cada tipo de cliente ou processo de conversão.

10. CAIXA DE ENTRADA

10.1. CONCEITOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

A alimentação da suspensão fibrosa para a máquina de papel deve ser realizada de maneira mais uniforme possível, com fluxo perfeitamente regular e homogêneo sobre toda a largura, com as fibras dispersadas uniformemente, sem agrupamento em flocos, torvelinhos ou correntezas; o fluxo da suspensão deverá ter ainda uma velocidade constante e compatível com a velocidade da tela. Para a obtenção destes objetivos foi desenvolvida a caixa de entrada com seus componentes e controles.

A caixa de entrada é alimentada por um conjunto de tubos múltiplos que recebem a massa, sob pressão dos depuradores.

A utilização de baixas consistências nos permite obter esta homogeneização e distribuição uniformemente dispersas na suspensão. Com altas consistências, existe a tendência de formar flocos de fibras que afetam a formação da folha. A função da caixa de entrada é distribuir a massa proveniente do “approach flow” de maneira uniforme na tela formadora. Esta distribuição uniforme se alcança através de uma pressão interna uniforme e constante.

Dentro do processo de fabricação de papel, a caixa de entrada ocupa uma posição de extrema importância. As funções da caixa de entrada são:

- Fornecer um jato estável e uniforme, com velocidade constante na direção da máquina e sem distúrbios localizados ou erráticos de grande escala (cordões);
- Fornecer uma área geométrica estável e definida de abertura de lábios, independentemente de variações de temperatura e pressão;
- Fornecer uma suspensão de água e fibras bem dispersas, com um mínimo de flocos;
- Ter como parâmetro mais importante em seu projeto, sua estabilidade e, acima de tudo, repetibilidade.

A caixa de entrada tem participação efetiva para a qualidade do produto (folha de papel), bem como para a produtividade da máquina de papel. Para cada tipo de formador possui há uma caixa de entrada apropriada, mas o princípio básico de funcionamento da caixa de entrada e do sistema de aproximação (“approach flow”) não se altera. Todo este processo define a formação da folha, ou seja, é o ponto mais importante no processo de fabricação de papéis.

10.2. TIPOS DE CAIXA DE ENTRADA

10.2.1. Caixa despressurizada aberta “multipass”

Nas caixas abertas, a mesma deve ter uma altura geométrica que permita uma coluna d'água de altura suficiente para que a massa entre na tela com velocidade adequada. Na caixa “multipass” (figura 10.01) a massa entra pelo posterior, através de um tubo ou canal e possui um fluxo de subida e descida em função das chicanas. As duas chicanas superiores permitem uma regulação, a fim de possibilitar a variação do fluxo de massa. Só encontrado em máquinas pequenas de velocidade até 150 m/min.

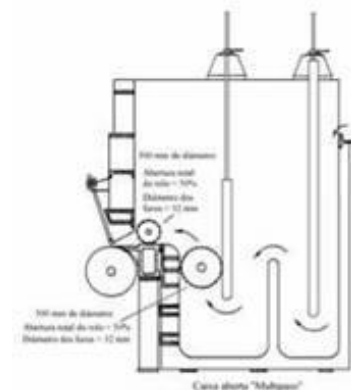


Figura 10.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

10.2.2. Caixas pressurizadas

Como foi visto, as primeiras caixas de entrada das máquinas de papel eram abertas. Com o aumento da velocidade das máquinas de papel, logo se percebeu que, para velocidades acima de 300 m/minuto, a altura requerida para a caixa de entrada provocava problemas como a estagnação da pasta e formação de aglomerados. A solução encontrada foi a construção de uma caixa de entrada pressurizada (figura 10.02), na qual o ar comprimido desempenhava a função da altura geométrica.

Este tipo de caixa é um desenvolvimento das caixas citadas antes. Se eles fossem fechados e a eles fosse acoplado um sistema de ar comprimido, poderiam desempenhar as mesmas funções das caixas pressurizadas.

Nas caixas pressurizadas os fatores mais importantes são:

- Espaço útil no seu interior;
- Desenho e arranjo dos rolos;
- Eficiência dos chuveiros.

Desde que o volume de massa dentro da caixa seja independente da velocidade da máquina e sendo sua vazão sobre a tela controlada por meio de ar comprimido, o desenho da mesma pode ser bastante simplificado e seu controle feito com rigor e facilidade.

O diâmetro dos furos e o espaçamento entre os rolos variam de acordo com a velocidade com que se vai trabalhar, porém, normalmente, a porcentagem de

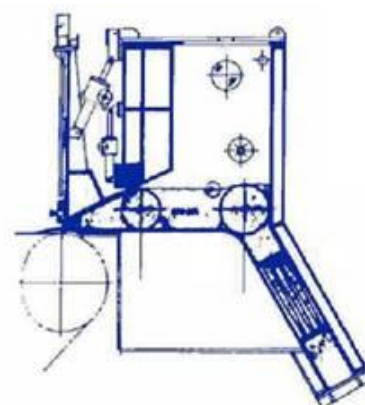


Figura 10.02 (FONTE:

área aberta permanece constante. Os rolos devem ser bem lisos e não possuir rebarbas em suas faces. Máquina de papel – Caixa de entrada – Francisco Viana Barbosa)

Atualmente alguns deles têm revestimento de borracha, “fiberglass” ou outro tipo de revestimento visando evitar a retenção de fibras nos rolos. Os chuveiros são necessários para evitar a formação de aglomerados de fibra e eliminar a espuma que se forma na superfície da massa. Em caixas de entrada pressurizadas, utiliza-se em geral, chuveiros rotativos.

10.2.3. Caixas de fluxo direto, ou hidráulicas

Caixa hidráulica (figura 10.03), pressurizada hidraulicamente pela própria suspensão fibrosa, e onde as forças de cisalhamento (forças que interferem no movimento natural das fibras) para a geração da turbulência anti-floculação são geradas pelo atrito da massa contra as paredes de bancos de tubos de perfil especial e em canais transversais que convergem para o lábio.

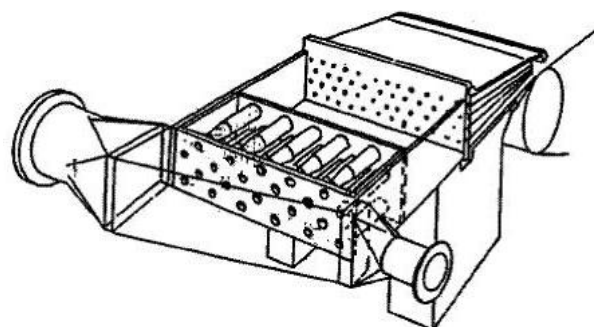


Figura 10.03 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

10.2.4. Caixas de entrada para formação de papel multicapas ou multijato

Esta classe de caixas tem, nos desenvolvimentos recentes, equipamentos multijato (figura 10.04), ou seja, caixas que podem depositar sobre a tela duas ou três camadas estratificadas e superpostas de massa de características diferentes. As caixas modernas podem ser dotadas, ainda, de sistema que permite o controle transversal da gramatura mediante injeções controladas de água branca que corrige pontualmente a consistência e, por extensão, a gramatura.

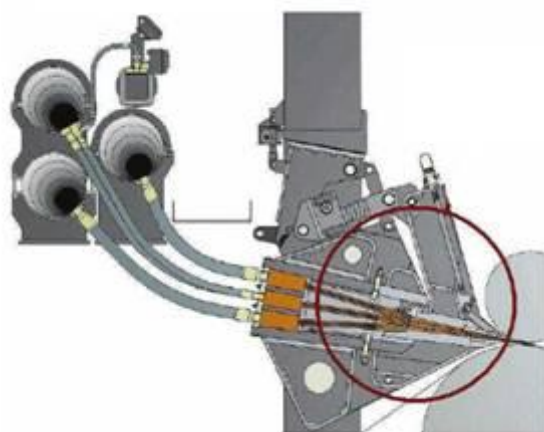


Figura 10.04 (FONTE: OptiFlo II TIS headbox
– Metso Paper)

Esta alternativa consiste na instalação de caixas de entrada construídas para fabricar papéis com duas ou três camadas. Este tipo de caixa de entrada permite a utilização de tipos de fibras diferenciadas em cada camada, por exemplo, buscando obter ao mesmo tempo a resistência requerida e maior suavidade do papel ou então buscando fabricar um produto de boa qualidade com a utilização de fibras menos nobres (figura 10.05).

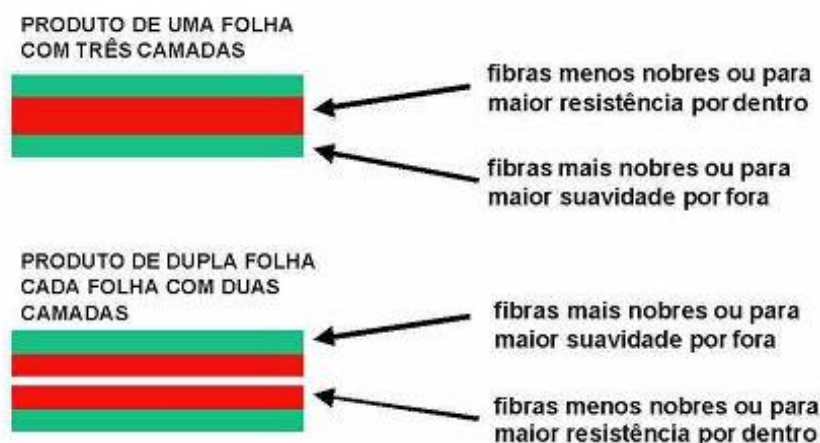


Figura 10.05 (FONTE: Artigo VOITH /ABTCP)

10.3. O QUE DEVE SER CONTROLADO NA CAIXA DE ENTRADA

A característica de desempenho da caixa de entrada está diretamente relacionada à uniformidade do produto, uma vez que este determina as melhores propriedades físicas para a folha de papel. Está ligada a fatores como eficiência da caixa de entrada e projeto adequado. A caixa de entrada deve proporcionar as melhores condições operacionais (operação contínua e estável, flexibilidade para correções e regulagens), e de manutenção.

O ponto básico que define a eficiência da caixa de entrada é a qualidade do jato de massa que a mesma proporciona. As principais características de qualidade do jato são as seguintes: jato transversal uniforme de massa, mistura homogênea, fluxo livre de pulsações, boa estabilidade, atenuação de pulsos, turbulência controlada, eficiente geometria do lábio, **livre de fluxos transversais, perfil uniforme de gramatura e adequada relação jato-tela.**

Os três últimos itens por serem considerados de mais difícil entendimento, serão explicados a seguir com maiores detalhes:

10.3.1. Livre de fluxos transversais

Fluxos transversais provocam interferências na distribuição de fibras, provocando alterações indesejáveis nas propriedades físicas do papel. Uma das causas dos fluxos transversais é a distribuição irregular de pressão da caixa de entrada na direção transversal (figura 10.06).

O “manifold” apresenta um sistema de recirculação que possibilita manter a mesma pressão na sua entrada e na saída pelo controle de uma válvula presente na tubulação. Este equilíbrio de pressão pode ser visualizado através de uma tubulação de material transparente que faz parte do sistema. A ausência de um fluxo de massa circulando dentro desta tubulação nos indica pressões iguais na entrada e na saída. Quando existem diferenças de pressão, os perfis de gramatura serão variáveis.

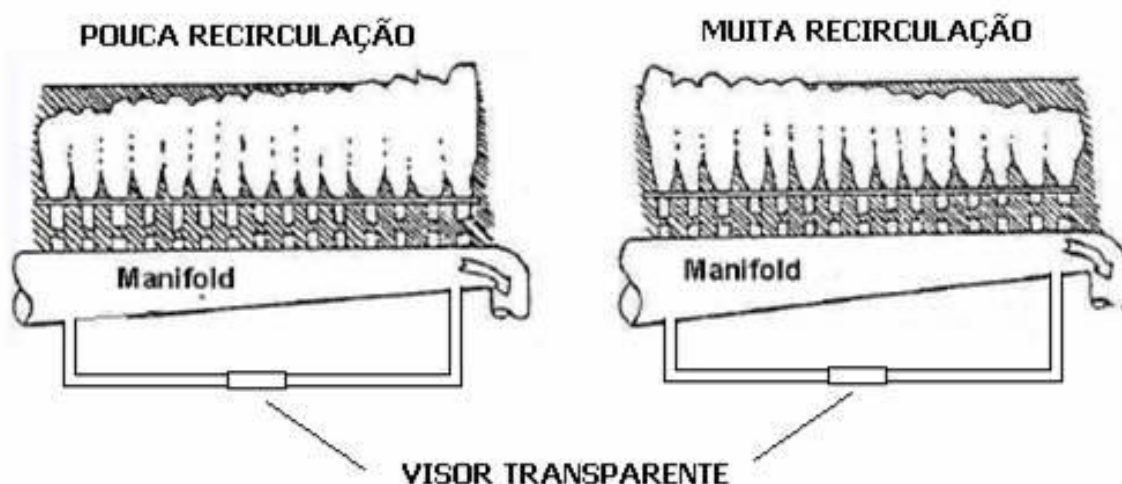


Figura 10.06 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

10.3.2. Perfil transversal

Refere-se basicamente ao perfil transversal de gramatura e ao perfil transversal de orientação de fibras. O projeto da caixa de entrada engloba os recursos necessários para se efetuar ambos os controles. Frequentemente, o grau de orientação das fibras na folha de papel é estimado a partir da razão entre as resistências à tração no sentido longitudinal e transversal. A orientação dominante ou resultante será tanto maior, quanto maior for a relação numérica obtida. O processo de orientação de fibras na máquina de papel é acompanhado pelo cisalhamento entre fibras e conseqüentemente desfloculação das mesmas.

A figura 10.17 mostra um controle de gramatura transversal feito mecanicamente por um sistema de manípulos. Consiste em um conjunto de hastes, de comprimento variável, fixadas sobre o lábio superior ao longo de toda sua largura, guardando um espaçamento regular entre si. Estas hastes podem estar acopladas a atuadores, para o desenvolvimento do controle automático. Alteração do fluxo de massa em uma pequena região do lábio através de mudança na abertura do mesmo, conseguida com o auxílio do movimento das hastes. Esta operação promove mudança no fluxo de massa e na vazão, naquela região do lábio.

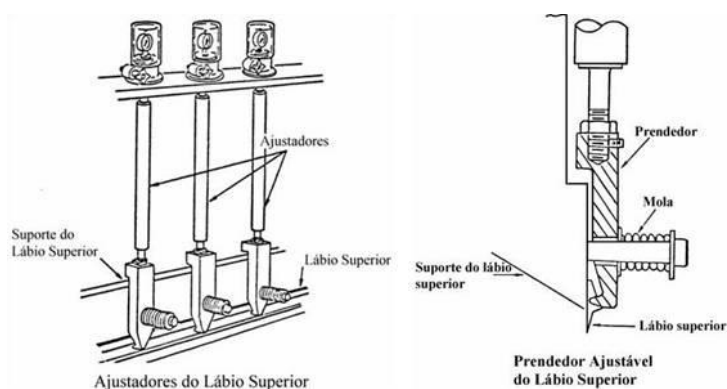


Figura 10.07 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

A redução local na abertura do lábio resulta em um decréscimo na saída de massa (e gramatura) e também em um acréscimo na velocidade local do jato. Um aumento local na abertura do lábio significa aumento da saída de massa (e gramatura) e ao mesmo tempo também resulta em uma velocidade reduzida local do jato no local onde a velocidade do lábio variou. Uma redução local na abertura do lábio (figura 10.08), por exemplo, também resulta em uma mudança local na direção do jato:

- Fluxos transversais na suspensão são gerados, deixando-se levar do local da redução do lábio. O maior efeito está na vizinhança do controle local do lábio;
- O plano vertical do ângulo do jato é também afetado.

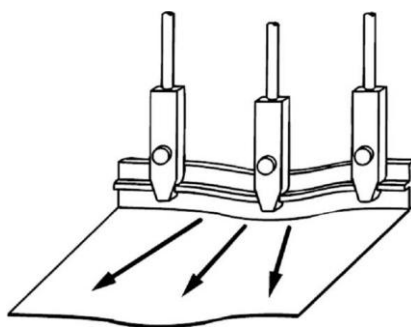


Figura 10.08 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

O controle do perfil transversal de gramatura pode também ser feito por uma série de válvulas misturadoras individuais, pelo princípio do controle da consistência por meio de diluição, de forma localizada e por zonas, do jato lançado pela caixa de entrada.

O equipamento utilizado (figura 10.09) é uma seqüência de válvulas misturadoras (de diluição) distribuídas **equidistantemente** ao longo de toda a largura da caixa de entrada. Nas zonas onde o perfil apresenta distorções, controla-se convenientemente a diluição das válvulas correspondentes.

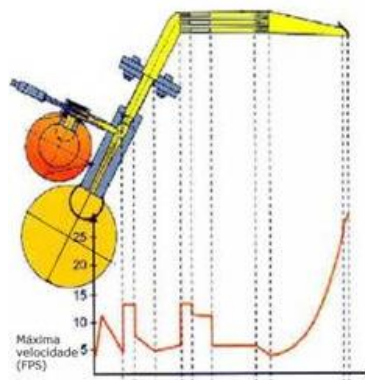


Figura 10.09 (FONTE: Máquina de papel – Caixa de entrada – Francisco Viana Barbosa)

10.3.3. Relação jato-tela

A relação de velocidades entre jato e tela (V_j/V_t) tem grande impacto na qualidade de forma ao assim como na resistência do papel, ou seja, na relação de resistência longitudinal e transversal. Normalmente, adota-se como valor de referência a relação de 0,95 a 0,99, ou seja, quando temos a velocidade do jato próxima à velocidade da tela, teremos a relação de resistência longitudinal e transversal próximo de 1,0 (um), e para se obter uma maior resistência longitudinal, retardamos a velocidade do jato. Com este retardamento do jato da caixa estaremos permitindo um melhor alinhamento de fibras e, portanto, um controle da relação de resistência.

A velocidade do jato nas caixas de entrada define praticamente a velocidade da tela e, portanto, a velocidade da máquina de papel. Isto porque a relação da velocidade do jato pela velocidade da tela (relação jato-tela) deve ser próxima da unidade (1,0). Nas caixas abertas, a velocidade do jato é dada pela fórmula: $V_j = C_v \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}$. Onde: V_j = velocidade do jato; C_v = coeficiente do tipo de saída da caixa (0,8 a 1); g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²); H = altura da massa na caixa de entrada em “m” (figura 10.10).



Figura 10.10 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Se fizermos uma tabela da velocidade do jato em relação à altura de massa na caixa, teríamos (tabela 10.01):

V _j (m/min)	H (m)
60	0,051
120	0,204
180	0,459
240	0,815
300	1,274
360	1,835
...	...
900	11,468

Tabela 10.01

Isto é, a partir de determinada velocidade, a caixa de entrada aberto deixa de ser uma opção prática. A velocidade do jato no caso da caixa pressurizada é dada por: $V_j = C_v \cdot (2 \cdot g \cdot H')^{1/2}$, sendo: $H' = P + N$, sendo “P” a pressão de ar em “metros de coluna d’água” e “N” a altura de massa na caixa de entrada em “m” (figura 10.11).

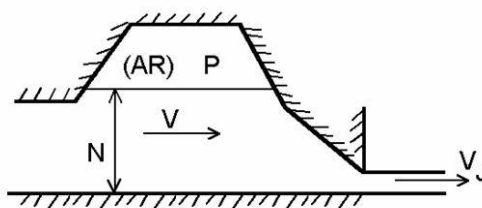


Figura 10.11 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Neste tipo de caixa de entrada, a velocidade do jato depende mais de algumas dimensões da caixa de entrada e características da massa (figura 10.12):

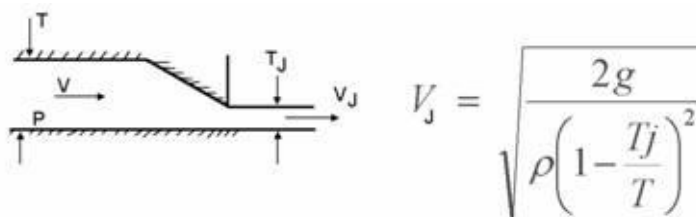


Figura 10.12 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

A maioria das máquinas trabalha na condição “drag”, isto é, com atraso do jato. Assim, o movimento relativo entre a tela e a massa diminui o número de flocos pelo cisalhamento mecânico, contribuindo para uma boa formação e alinhamento das fibras na direção de

máquina. Quando as velocidades do jato e da tela são iguais, dizemos que estamos trabalhando no teórico.

A condição “rush” significa que a velocidade do jato é maior que a velocidade da tela. A figura 10.13 mostra as duas situações. Nesta situação, uma fração da água contida no jato volta para trás com grande probabilidade de formar flocos de fibras afetando diretamente na formação da folha. Normalmente, com a relação jato-tela igual a 0,95, por exemplo, teremos um valor maior de tração longitudinal e um valor menor de rasgo transversal; com a relação jato-tela em 1,05, teremos um valor maior de rasgo transversal e a presença de dupla face.

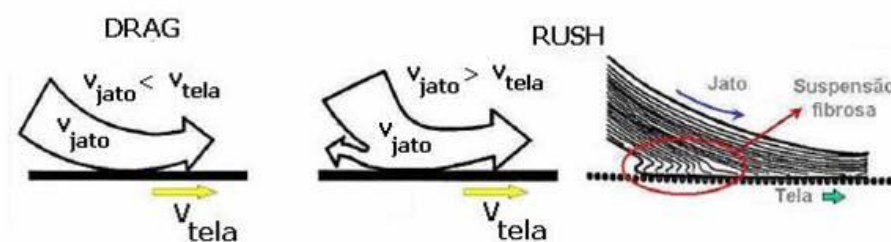


Figura 10.13 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

11. FORMAÇÃO DA FOLHA DE PAPEL

11.1. O PROCESSO DE FORMAÇÃO DA FOLHA

Como as teorias tradicionais sobre formação da folha tiveram como referência a formação sobre uma mesa plana, neste curso o processo de formação da folha será tratado com base neste tipo de formador.

A folha de papel é feita pela deposição de fibras de uma suspensão aquosa, com consistência de 0,2 % a 1,5 %, sobre a tela da máquina. Mais de 98 % da água pode ser removida por drenagem na tela.

Para qualquer sistema de formação, o principal requisito é de produzir uma folha que possua distribuição uniforme de fibras. Para alcançar isto, as fibras devem ser uniformemente dispersas na suspensão e esta deve ser enviada à seção de formação já com um filme uniforme.

As tarefas básicas a serem realizadas pela seção de formação da máquina de papel são destacadas a seguir:

- Diluir a massa até uma consistência suficientemente baixa que permita um alto grau de uniformidade na dispersão de fibras. A água de diluição pode ser fresca, porém é comum o uso de água reciclada da própria seção de formação ou das águas brancas recuperadas ao longo de toda a máquina de papel;

- Distribuir uniformemente a suspensão diluída de fibras na seção de formação, mantendo-as dispersas, homoganeamente;
- Depositar, individualmente, as fibras uniformemente sobre a tela, ao mesmo tempo em que se inicia a drenagem da água na tela;
- Compactar o material fibroso enquanto ele está em estado plástico, a fim de obter um contato íntimo entre as fibras;
- Por meio de sucção, remover o máximo possível de água das fibras, antes que a folha formada seja transferida para a seção de prensagem.

A formação da folha consiste, essencialmente, na deposição das fibras da suspensão fibrosa fornecida pela caixa de entrada sobre uma tela fina onde ocorre o seu desaguamento. Com o progredir da drenagem da água da massa as fibras se entrelaçam e se sobrepõem, formando uma fina camada que vai aumentando na sua espessura. Com isso, a drenagem natural da água se faz cada vez mais lenta, tornando necessários efeitos de aspiração cada vez mais intensos.

Muitas características importantes do papel como a distribuição das fibras, a isotropia de resistências mecânicas, a distribuição de finos e de cargas minerais na seção da folha, marcas de telas e outras, são determinadas já no início da fase de drenagem.

Em sua clássica monografia, **J.D. Parker** demonstra como a formação da folha se realiza através da combinação de três processos hidrodinâmicos básicos que acontecem simultaneamente e que não são totalmente independentes uns dos outros. Estes processos são mostrados na figura 11.01: drenagem, cisalhamento e turbulência.



Figura 11.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11.1.1. Drenagem

A drenagem tem como característica mais importante o desaguamento, entendido como o fluxo que acontece de modo predominante em sentido perpendicular ao plano da tela, originando a formação. Quando as fibras podem se movimentar com razoável liberdade, a

drenagem acontece pelo mecanismo de filtração e as fibras vão se depositando em camadas discretas, isto é, ordenadas. A filtração é o mecanismo predominante na grande maioria das seções formadoras, como demonstra a uniformidade da distribuição de fibras do papel que elas produzem. A filtração é o comportamento que se quer induzir, pois que a formação será tanto mais uniforme quanto mais predominante for o efeito filtração.

Acontece, porém, que quando as fibras em suspensão ficam com mobilidade baixa devido a adensamento da suspensão, por exemplo, elas tendem a se aglomerar, a se emaranhar, e a drenagem passa a acontecer por espessamento surgindo daí uma folha mais feltrada e flocada. Na figura 11.02 procura-se demonstrar este mecanismo de drenagem.

A movimentação mais ou menos livre das fibras é função da consistência da massa, ou seja, quanto menor a consistência maior a liberdade de movimento das fibras e, teoricamente, maior a possibilidade de boa formação.

Resulta, então, que a condição ideal de drenagem para a boa formação corresponde a um ambiente de baixa consistência, como acontece no formador de folha de laboratório, por exemplo. Como esta condição não é possível em termos práticos, a formação industrial é realizada com a introdução de pulsos geradores de turbulência (ou microdispersão), obtidos mediante o uso de elementos desaguadores instalados na área de formação tais como os rolos desaguadores, os foils, as telas auxiliares superiores, os rolos bailarinos em certos casos e eventualmente algum artifício, como poderia ser um chuveiramento superficial especificamente elaborado.

A introdução desta microturbulência ou microdispersão deve ser obtida de maneira ordenada e gradual, uma vez que qualquer elemento que venha a introduzir energia excessiva ‘quebrando’ o tecido já formado acaba sendo prejudicial à boa formação da folha.

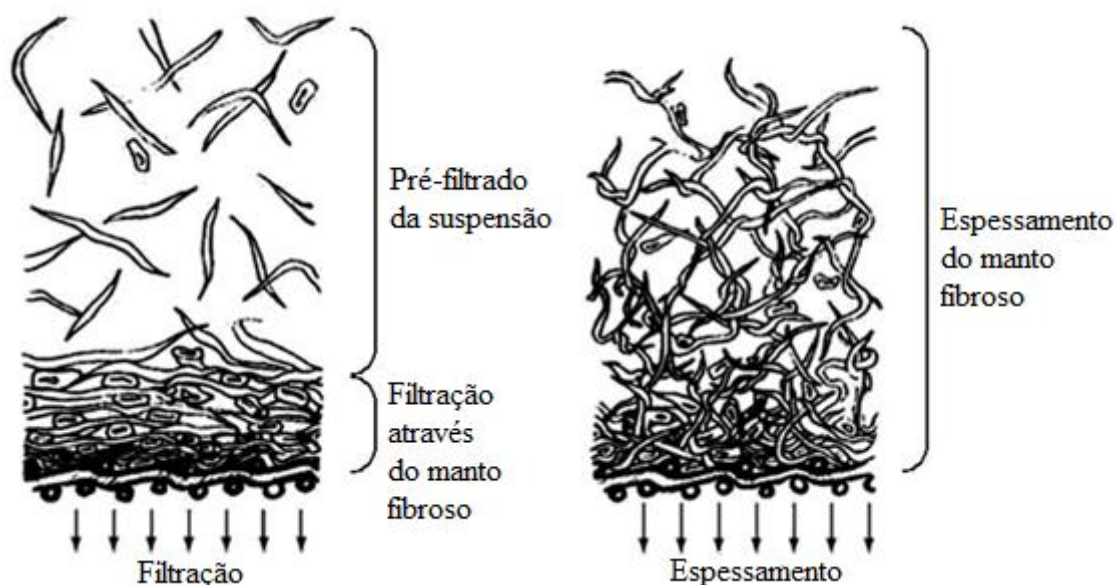


Figura 11.03 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11.1.2. Cisalhamento orientado

É definido como a introdução de pulsos que dão origem a diferenças de velocidade e ao modo de orientação das fibras. Eles seriam tipicamente:

- A diferença de velocidade entre o jato de saída da caixa de entrada e a velocidade da tela;
- Diferenças de velocidade entre as camadas de fibras que vão se depositando, umas sobre as outras, formando o papel;
- Variações transversais de velocidade induzidas por eventual sacudidor da mesa plana;
- A ação do rolo bailarino ao reordenar a face da folha oposta à tela formadora.

11.1.3. Turbulência

Vem a ser, idealmente, a flutuação errática das velocidades existentes na fração de fibras ainda em suspensão. Ela se caracteriza por duas grandezas:

- A escala, que corresponde à medida das distâncias médias nas quais as flutuações de velocidade acontecem;
- A intensidade, que é a medida da grandeza das flutuações de velocidade.

Todos os formadores de folha de mesa plana, formadores de tela dupla e formadores híbridos aplicam, ainda que em diferentes graus, as três condições fundamentais de drenagem, turbulência e cisalhamento orientado como mecanismos de definição da formação.

11.2. FASES DE FORMAÇÃO NA MESA PLANA

O processo de construção da folha sobre a mesa plana pode ser visto como seis fases conforme mostra a figura 11.04:

- Entrada: posição da mesa formadora (“forming board”) onde o desaguamento deve ser praticamente nulo e dar-se apenas por gravidade, pois o “forming board” tem lâminas planas e com pequeno espaçamento. A mesa formadora tem a finalidade básica de possibilitar a dissipação de irregularidades no jato proveniente da caixa de entrada, além de evitar que o rolo de cabeceira se transforme, ele próprio, em um forte agente desaguador em local proibido. As fibras continuam, então, convenientemente em suspensão ao passar para o próximo elemento efetivamente desaguador;
- Atividade e desaguamento: a turbulência é importante para evitar a floculação e deve-se maximizar o desaguamento;
- Drenagem: onde se procura retirar o máximo de água com o mínimo de pulsos de turbulência para resguardar a formação já construída;
- Transição e consolidação: onde se procura retirar toda a água possível por meio de vácuo mais intenso.

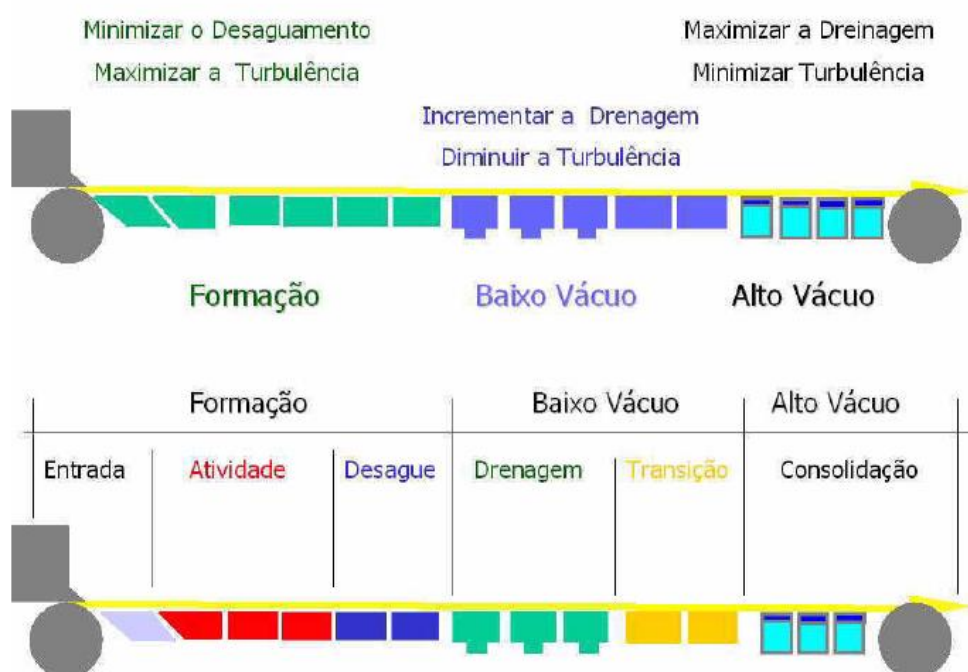


Figura 11.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11.3. TIPOS DE FORMADORES

Há basicamente três tipos de formadores: mesa plana ou “Fourdrinier”, formador cilíndrico ou forma redonda, formador de tela dupla e formadores híbridos.

11.3.1. Mesa plana

A mesa plana tem a função de suportar a tela o receber o jato de massa vindo da caixa de entrada. Consiste de uma tela sem fim que escorra sobre uma série de elementos desaguadores suportados numa estrutura física adequada, além destes elementos, a mesa plana possui uma série de acessórios, tais como os rolos guias e os chuveiros limpadores da tela formadora.

Instalada entre o rolo de cabeceira e os “hidrofoils”, a mesa plana tem a função de suportar a tela o receber o jato de massa vindo da caixa de entrada. Ela deve ser colocada o mais perto possível do rolo de cabeceira. Consiste de uma tela sem fim que escorra sobre uma série de elementos desaguadores suportados numa estrutura física adequada, além destes elementos, a mesa plana possui uma série de acessórios, tais como os rolos guias e os chuveiros usados para limpar as telas formadoras.

A mesa plana tem a função de suportar a tela o receber o jato de massa vindo da caixa de entrada. Consiste de uma tela sem fim que escorra sobre uma série de elementos desaguadores suportados numa estrutura física adequada, além destes elementos, a mesa plana possui uma série de acessórios, tais como os rolos guias e os chuveiros limpadores da tela formadora.

Na figura 9.03 aparece a mesa plana com seus principais componentes:

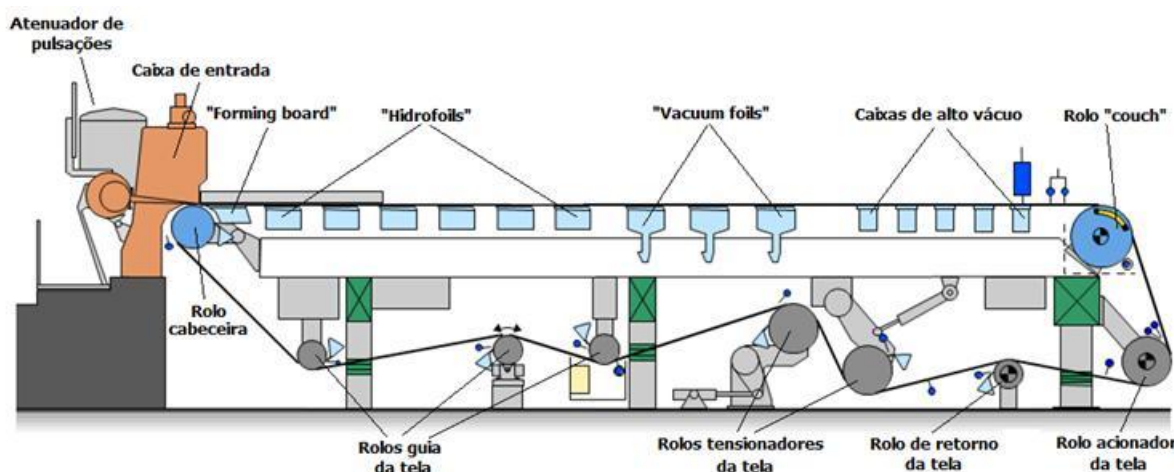


Figura 9.03 (FONTE: Apresentação Voith / ABTCP)

A figura 11.06 mostra as principais etapas de formação da folha na mesa plana com os níveis de pressão e vácuo envolvidos, de uma forma didática, sem a preocupação com as reais dimensões da mesa.

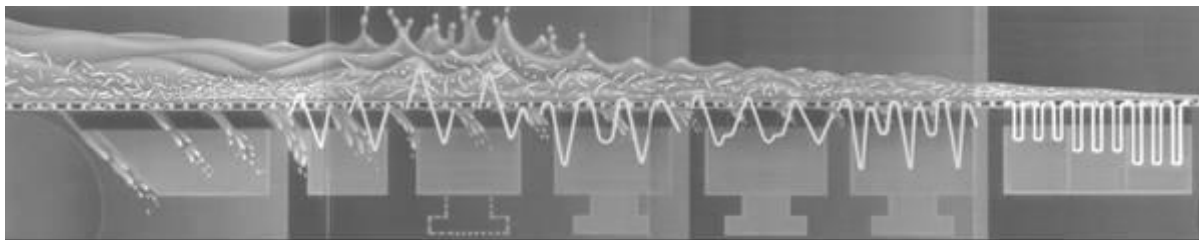


Figura 11.06 (FONTE: Catálogo “Sistemas de formação e drenagem” – Albany)

Os principais componentes da mesa plana são:

11.3.1.1. Rolo cabeceira

O rolo cabeceira (figura 11.07) localizado sob o lábio inferior da caixa de entrada deve estabelecer um apoio plano e retilíneo para a tela que estará recebendo o jato de massa. O rolo cabeceira deve situar-se sempre num patamar paralelo e nivelado em relação ao lábio inferior para que a tela, ao receber o jato esteja paralela e não cause um desaguamento irregular no sentido transversal da máquina.

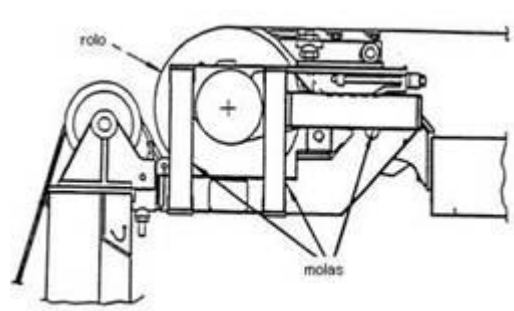


Figura 11.07 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel)

O rolo cabeceira pode ser do tipo sólido, telado ou de sucção. O tipo mais utilizado é o sólido. Os outros dois tipos são mais utilizados para papéis “tissue”. Normalmente o rolo cabeceira é montado sobre suportes rígidos com articulação (incluindo mesa formadora) para facilitar a troca de tela sob o lábio inferior e também diminuir a laçada necessária para vestir a tela. Este sistema é denominado “cantilever”.

Em alguns casos, o rolo cabeceira pode ter sacudimento, ou seja, apoiado sobre um sistema de molas flexíveis que permitem a oscilação do rolo no sentido transversal da máquina. As molas de sacudimento ligam o suporte do rolo aos braços articulados do rolo cabeceira. As molas são colocadas nos sentidos verticais e horizontais para suportar o peso do rolo, tensão da tela, e para manter o rolo alinhado.

O sacudidor consiste em uma peça ligada ao suporte do rolo no lado de acionamento da máquina. A oscilação do rolo é no sentido transversal da máquina. O rolo também provocará a oscilação da tela da mesa plana, pois a tela aderirá ao rolo, devido ao grande abraçamento. A tela oscilará com o mesmo percurso e velocidade na extremidade do rolo cabeceira, mas isso decairá ao longo da mesa plana e a tela estará correndo em linha reta.

O rolo cabeceira oscilante adicionará cisalhamento às fibras da folha durante a sua formação. As fibras formadas perto da superfície da tela oscilarão e movimentar-se-ão à mesma velocidade transversal da tela.

As fibras suspensas na água na superfície superior da massa ficarão praticamente paradas. Isto gera um cisalhamento entre as fibras que se mantêm em dispersão, melhorando a formação da folha.

O cisalhamento é mais predominante e útil quando há maior teor de água na folha, quando o jato da caixa de entrada atinge a tela em cima do rolo cabeceira. A figura 11.08 mostra um exemplo de sacudidor.

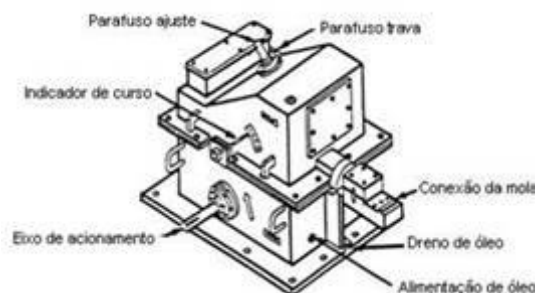


Figura 11.08 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel)

Já que a oscilação da tela diminui no seu percurso em direção ao rolo “couch” haverá também uma diminuição no cisalhamento conforme a folha deságüe e se forme ao longo da tela.

11.3.1.2. Mesa formadora (“forming board”)

O “forming board” (figura 11.09) está entre o rolo cabeceira e o primeiro dos rolos desaguadores. Este trecho é crítico na formação da folha e na prática, conhece-se este elemento como: mesa de fabricação. O “forming board” não só suporta a tela de fabricação, mas também evita a drenagem da massa de forma brusca. O desenho mais conveniente de “forming board” é aquele que permite mover horizontalmente e verticalmente o papel em relação ao rolo cabeceira modificando desta forma o ângulo do jato. Sem a existência do

“forming board”, a formação inicial seria impossível já que no momento em que a suspensão tocasse a tela, seria drenada totalmente.

Hoje a sua estrutura é composta de uma lâmina de 150 a 200 mm de espessura (lâmina líder) feita em “polipropileno” de alta densidade seguida de outras mais estreitas separadas pelo mesmo espaço. A área aberta do “forming board” está entre 20 e 25% e a vazão de água eliminada neste elemento pode atingir 30% da água que sai no jato, sendo que às vezes, esta porcentagem não favorece uma boa formação.

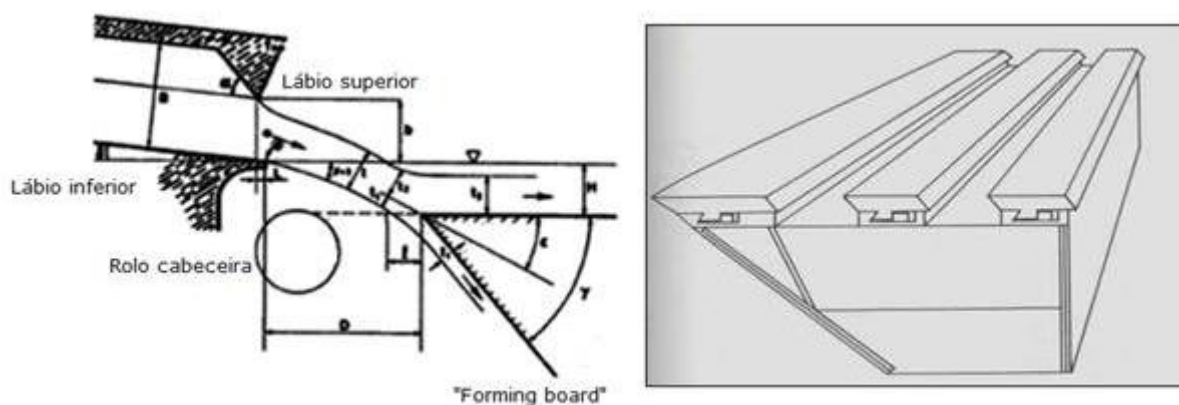


Figura 11.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A razão do nome mesa de formação (“forming board”) para este dispositivo pode ter advindo da observação dos papeleiros da tremenda influência que tinha a localização deste dispositivo, sobre a formação.

Para as máquinas mais estreitas pode-se usar uma lâmina larga em um suporte individual, pois este suporte pode ser construído forte o suficiente para suportar a tela e o grande volume de água e massa, sem vibrar e sem fletir. Nas máquinas muito largas de papel marrom projeta-se uma mesa de formação (“forming board”) com cinco lâminas de forma a obter-se a resistência necessária para suportar as enormes cargas hidráulicas. A segunda possibilidade deve ser evitada de todas as formas, pois o ar passando através do jato aparecerá como pontos mais claros na folha (olho de peixe ou bolhas). Portanto, a saída para o ar arrastado deverá ser pela tela. (figura 11.10).

Uma forma de se arrastar o ar através da tela é ajustar a posição da mesa formadora de forma que o bico da lâmina líder drene uma pequena camada da superfície inferior do jato, como é demonstrada na figura 11.11. Esta camada sendo drenada através da tela arrastará com ela o filme de ar e preencherá toda a área da tela com água por igual.

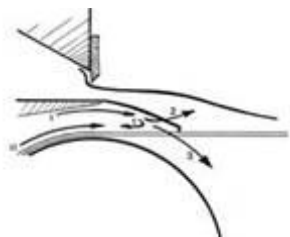


Figura 11.10 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel)

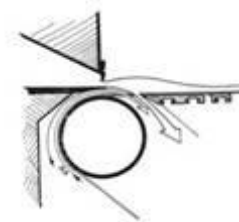


Figura 11.11 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel)

11.3.1.3. Rolos desaguadores

Os rolos desaguadores são elementos desaguadores praticamente em desuso, mas é necessário fazer um comentário sobre eles por sua contribuição histórica e por ainda estarem sendo utilizados. A sua ação desaguadora é devido ao vácuo que se cria em função do bombeamento da água que acontece em seu ângulo divergente entre tela e rolo, apresentando um efeito tanto maior quanto maior for a velocidade periférica do rolo. A utilização de rolos desaguadores a partir da velocidade de 800 m/min é teoricamente inviável.

Estes equipamentos (figura 11.12), quando utilizados em máquina, normalmente encontram-se após o “forming board” e antes dos “foils”, mas pode haver outras configurações. Os rolos são fabricados de metais tais como: bronze, alumínio ou aço inoxidável com cobertura de borracha, ebonite ou “black diamond”.



Figura 11.12 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O seu princípio de funcionamento é a eliminação da água através da geração de vácuo, ocasionado pelo arraste de ar pela tela e pelo rolo. O arraste de ar pelos rolos desaguadores se produz porque ambos estão em movimento. A quantidade de ar arrastado não é compensada da mesma forma pela atmosfera, criando uma depressão intensa e instantânea na zona posterior ao contato tela-rolo. Por esta razão, o funcionamento do rolo é dependente da velocidade de máquina, onde uma velocidade maior ocasionará maior remoção de água na seção dos rolos.

11.3.1.4. Defletores

Os defletores (figura 11.13) podem ser considerados separadores entre rolos desaguadores da mesa plana, com a tarefa de dar apoio à tela reduzindo-lhe a flexão induzida pelos rolos e com isso diminuir o “jumping”, assim como aparar a água que um rolo, em sua rotação, lançaria sobre o rolo seguinte, aumentando o efeito de lavagem da face inferior da folha.

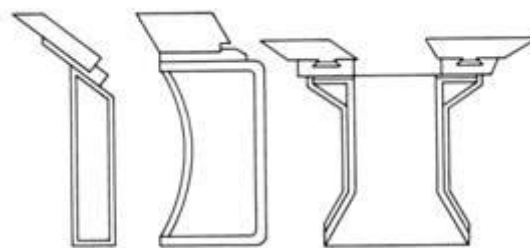


Figura 11.13 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Embora pouco efetivos, o grande mérito dos defletores acabou sendo a sua contribuição ao desenvolvimento dos “foils”, por questão de afinidade de comportamento.

11.3.1.5. “Hidrofoils”

“Hidrofoils” ou “foils” são elementos estáticos de desaguamento constituídos de uma lâmina cuja inclinação varia de 0 a 5°. Os “foils” apresentam na sua geometria algumas variáveis importantes (figura 11.14).

Como princípio de funcionamento do “foil”, a tela (elemento móvel) ocasiona o arrasto de ar e esta quantidade de ar não pode ser recuperada pela atmosfera; assim, após a zona de contato (“foil”- tela) se produz o vácuo.

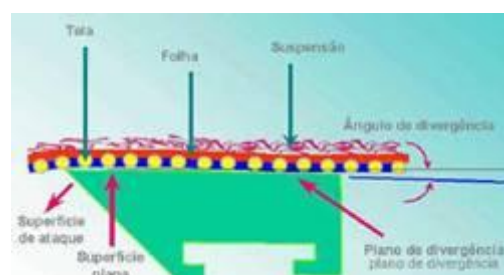


Figura 11.14 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A água é eliminada entre um “foil” e outro, segundo o seguinte processo: quando a tela sai de um “foil” a água não removida fica colada na parte inferior da mesma, no “foil” seguinte a tela em contato com o ângulo de ataque do “foil” faz com que a água retida na sua parte inferior seja eliminada. Após a zona plana ou de “nip”, enquanto a tela mantém contato com a superfície do “foil” gera-se um vácuo e forma-se uma ondulação no sistema tela-massa provocando uma redispersão das fibras, porém em períodos de curta duração.



Figura 11.15 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Esta redistribuição acontece após a eliminação de água no ângulo de ataque do “foil”. Quando a tela deixa de estar sob a ação do vácuo gerado, ela apresenta tendência a subir criando uma ação no sentido vertical à direção máquina que ocasiona o fenômeno de atividade (devida à inércia da massa na tela) (figura 11.15).

Um dos mais sérios problemas de uma mesa plana com elementos desaguadores estacionários é o da selagem da folha. Nas lâminas de “foil”, a drenagem de água é unidirecional, isto é, através da folha e da tela, comprimindo a manta de fibras contra a tela e sem descompressão. Se a taxa de drenagem da água for muito rápida (foil com ângulo de 3° ou 4° ou caixa de baixo vácuo no início da mesa, a manta de fibras da camada mais baixa será compactada contra a tela formando um filtro que impedirá que a água acima dela seja drenada. A esse fenômeno chamamos de selagem da folha.

Os “foils” usam o mesmo princípio hidrodinâmico dos roletes de desaguamento para efetuar a sucção, cuja intensidade é de 50 a 70 % menor, porém é possível aumentar a intensidade total de drenagem instalando vários “foils” no lugar de um rolo desaguador. Os rolos desaguadores são equipamentos que têm uma dependência relacionada com a velocidade da máquina. Assim quando a velocidade da máquina aumenta, o arraste de ar produzido pela tela e pelo rolo, faz com que se produza um pico de vácuo intenso após a zona de “nip” (tela – rolo).

Nos “foils”, esta influência é menor uma vez que existe só uma superfície móvel que é a tela. Isto significa que o arraste de ar é produzido somente pela tela, e ela é a razão do baixo vácuo gerado nestes equipamentos desaguadores (figura 11.16).

A intensidade da sucção também pode ser regulada pela inclinação da lâmina, sendo que quanto maior o ângulo maior a sucção. Os “foils” levam vantagem sobre os roletes de desaguamento porque apresentam maior capacidade de drenagem, melhor controle da curva de sucção e causam menor turbulência.

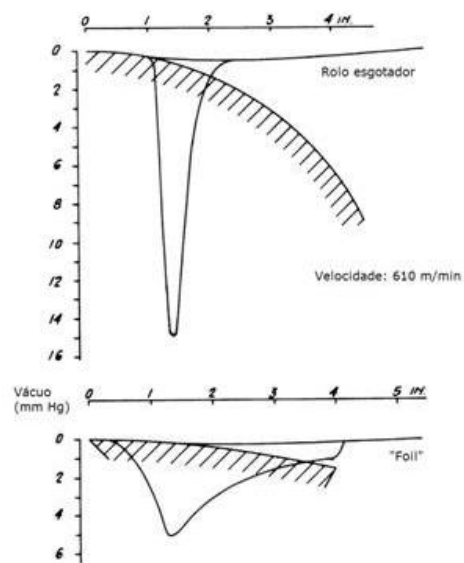


Figura 11.16 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Os fatores que controlam o projeto de um “foil” são:

- **Material de construção;**
- **Ângulo de divergência e tamanho da cunha;**
- **Largura do “foil”;**
- **Espaçamento entre “foils”;**
- Tipo da fibra;
- Consistência da massa;
- Velocidade da tela;
- Tensão da tela formadora.

Serão vistos alguns destes fatores (em negrito, acima), em detalhes, nos itens abaixo:

Material de construção

A aceitação do “foil” realmente só aconteceu após o desenvolvimento do polietileno de ultra-alto peso molecular e do suporte com régua “te”, que facilitava sobremaneira a manipulação dos “foils”, possibilitando ajustes de atividade e drenagem com a máquina em movimento. Como resultado destes desenvolvimentos, as investigações mostraram que a largura ótima da lâmina “foil” para a maioria dos tipos de papel estava entre 50,0 a 89,0 mm.

A procura por uma lâmina “foil” com maior durabilidade, e mantendo suas características levou ao desenvolvimento das régua de cerâmica (óxido de alumínio). Este

tipo de réguas só pode ser fabricado com o perfil plano de 1ª geração. A sua vantagem de maior duração em máquina (6 a 8 anos), é contrabalançada pela maior dificuldade em sua manipulação, sua sensibilidade a choques térmicos, sua fragilidade em termos de pancadas mecânicas (suas bordas são facilmente lascadas, o que poderá comprometer a vida das telas).

A lâmina foil de polietileno de ultra-alta densidade com um inserto de cerâmica na zona de contato foi desenvolvida e patenteada pela **Johnson Foils**. Essa lâmina foi projetada em razão de testes laboratoriais que demonstraram que o desgaste ocorre somente no ponto de contato da tela com a lâmina, e que esse ponto situa-se entre 4 e 6 milímetros após a borda de ataque da lâmina (o ponto de contato tela/lâmina pode ser vista em máquina na forma de uma linha esbranquiçada e irregular logo após o bico do “foil”).

Outro modelo tem todo o bico em cerâmica, mas estendendo-se somente até a área de contato da tela, os elementos cerâmicos são inseridos no polietileno por meio de encaixes deslizantes e são substituíveis em caso de acidente; suas vantagens são: durabilidade da cerâmica, facilidade de manuseio, maior flexibilidade, e seu corpo pode ser usinado com padrão de 2ª geração com perfil côncavo.

A figura 11.17 mostra as diferenças entre as lâminas dos “foils” de 1ª e 2ª geração. Os “foils” de 1ª geração são usinados de forma plana na sua área angular à tela, enquanto que as de 2ª geração são usinados com um perfil côncavo em relação à tela.

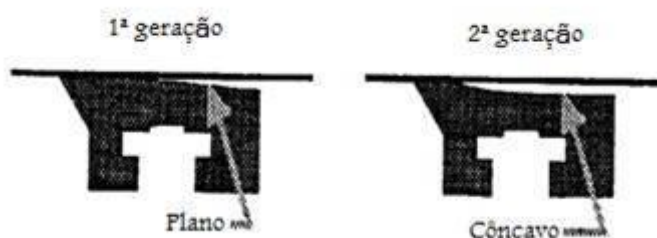


Figura 11.17 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Ângulo de divergência, tamanho da cunha e largura do “foil”

A capacidade de drenagem de um “foil” é determinada pelo tamanho da cunha formada pelo ângulo de divergência. Quanto maior for a cunha, maior será a capacidade de drenagem do “foil” (figura 11.18). De forma geral, a capacidade de drenagem dos “foils” não ultrapassa 1/3 da capacidade de drenagem dos rolos desaguadores.

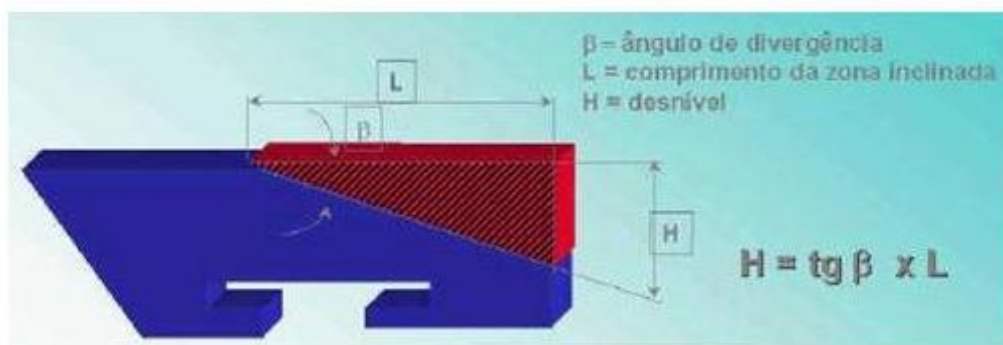


Figura 11.18 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O “foil” além de drenar, cria cisalhamento hidráulico entre as camadas fibrosas, o que melhora a formação. Após a zona de “nip”, a tela é puxada para baixo. A superfície livre da suspensão fibrosa não consegue acompanhar a tela, criando uma decomposição da massa. Quando a tela deixa a zona de divergência, volta (como se fosse um rolo) para cima e, neste retorno, com a massa que por inércia desce criando um pulso vertical, isto é, atividade.

A separação entre os bicos de “foils” deverá ser de forma a criar-se uma harmonia. A atividade consiste numa harmonia com uma frequência definida pela seguinte fórmula: $\text{Frequência} = V / (60 \cdot C_c)$, onde: V = velocidade da máquina (m/min); C_c = longitude centro-centro entre os bicos dos “foils” (m), a frequência ideal para manter uma atividade significativa encontra-se em 80 Hz e 100 Hz.

Normalmente ocorre problema com “foils” largos e ângulo de 1° , ou menos. Se multiplicarmos a tangente de 1° (0,1745) pelo comprimento em ângulo do “foil” de 127 mm (5”), encontraremos a altura entre a aresta de saída do “foil” e a tela formadora, a qual é de 2,2 mm. Ocorre também uma alta força cisalhante entre a superfície estacionária do “foil” e a tela em movimento. Uma lâmina “foil” de 152 mm de largura com um ângulo de $1,5^\circ$ a 2° aproxima-se em termos de atividade, da violência dos rolos desaguadores a 550 metros por minuto.

Estudos mostram que a largura ideal da lâmina “foil” para a maioria dos tipos de papel varia entre 50 e 89 milímetros. Quando estas lâminas largas foram substituídas por este novo padrão de largura, houve um aumento na vida da tela, redução na carga de arrasto e um melhor controle da potência consumida. A figura 11.19 avalia o comportamento da drenagem de “foils” largos (150 mm, 6”) com ângulo de 1° e $1,5^\circ$.

Substituindo-se caixas de “hidrofoils” após uma consistência de 1,4 %, e caixas de sucção trabalhando com consistência abaixo de 4,5 %, por caixas de baixo vácuo, a potência consumida se reduzirá ainda mais e proporcionalmente aumentará mais a vida da tela.

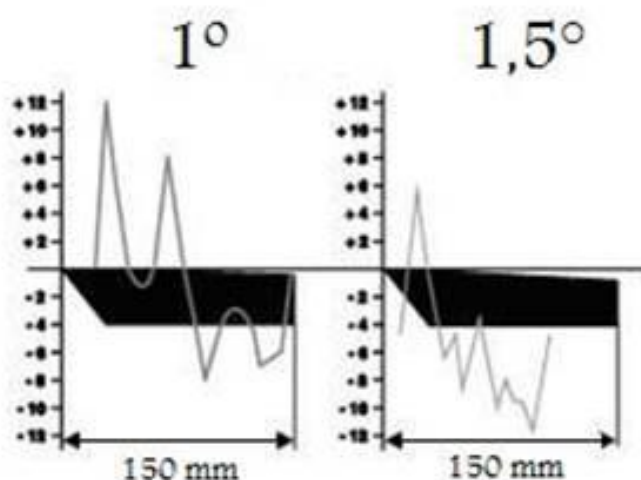


Figura 11.19 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Espaçamento entre lâminas “foils”

O espaçamento é resultante do tipo de fibra e da consistência. Os projetistas determinam o espaçamento através de princípios adquiridos de resultados práticos. Quanto maior a velocidade, maior o espaçamento; quanto maior for o grau de refino, maior será o espaçamento; quanto menor for a consistência, maior será o espaçamento: estes são os fatores governantes. Desde que os “foils” são considerados atualmente, além de elementos de drenagem, como elemento controlador de cisalhamento hidráulico, é comum encontrarmos instalados nas máquinas entre 15 a 21 lâminas “foils”. Com este número de “foils”, a consistência estará na faixa de 1,2 % a 1,4 %, após os mesmos.

Dependendo do tipo de fibra, dos aditivos, das cargas e das condições de operação, geralmente o desaguamento por rolos desaguadores e “hidrofoils” é pouco eficiente para um teor de sólidos entre 10 e 15 %. Neste caso, é recomendado o uso de caixas de sucção (úmidas e secas), que são colocadas no fim da parte superior da mesa plana.

11.3.1.6. Caixas de baixo vácuo (“vacuum foils”) ou caixas de sucção úmidas

As caixas de baixo vácuo (“vacuum foils”) ou caixas de sucção úmida representam um equipamento constituído de caixa com lâminas planas, com ângulo definido ou ângulo reto, que veio suprir a necessidade de um elemento desaguador de transição entre a área de formação e a parte seca da seção formadora, isto é, até o final da linha úmida (espelho). A régua com ângulo necessita de um menor nível de vácuo para obter a mesma taxa de drenagem da régua plana, mas apresentará uma maior consistência da água drenada (cerca de 70% a mais), representando com isso uma menor retenção.

Estas caixas possuem alta capacidade de drenagem sem introdução de distúrbios na folha formada, e de controle simples. O vácuo utilizado para a remoção de água através das caixas se processa pela redução de pressão abaixo da pressão atmosférica dentro da caixa, o que força a água e os finos a passagem através da tela para o seu lado inferior, na medida em que a tela passa sobre o rasgo. A régua seguinte raspa esse material fora da tela para dentro da caixa. Tal ação se repetirá de acordo com o número de rasgos e lâminas ou até que a selagem da folha ocorra. Por esta razão o corpo da caixa é razoavelmente alto e fechado, atuando como uma perna barométrica.

A água aspirada pela caixa passa entre as lâminas planas da cobertura e é descarregada para a calha coletora através de uma fenda que percorre todo o comprimento na parte baixa da caixa. O ar aspirado com a água é succionado pela fonte de vácuo ao longo de tubulação ascendente própria. A sua construção é rígida, desenhada para suportar pressão negativa de até 500 mm c.a. (20" WG), embora o vácuo efetivo de trabalho se situe muito abaixo deste valor, permitindo a utilização satisfatória de tampas de polietileno, exceto em papel corrugado por ser mais abrasivo.

A figura 11.20 mostra uma caixa de baixo vácuo com projeto baseado nos novos conceitos tecnológicos. A figura também mostra a descarga no lado do acionamento adequada para manipular grande volume de água. O princípio da utilização de rasgos é o de minimizar as cargas friccionais da passagem da água por áreas tais como a de um furo.



Figura 11.20 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As tampas das caixas de baixo vácuo, devem ser com rasgos contínuos cobrindo toda a largura da tela e munidas de castelo ajustáveis, para ajuste do formato. As tampas podem ser de “polietileno de ultra-alto peso molecular”, ou de cerâmica.

Contrariamente aos “foils”, a sua capacidade de drenagem é independente da velocidade da tela, pois suas lâminas são planas. Podemos definir a remoção de água com as caixas de baixo vácuo (“vacuum foils”), como a que ocorre até a linha úmida (espelho), por meio de diferença de pressão gerada mecanicamente. Ou em outras palavras, por intermédio da regulagem de uma válvula, variamos o diferencial de pressão através da folha e variamos a taxa de drenagem. Existem dois tipos distintos de utilização das caixas de baixo vácuo:

- Aumentar a taxa de drenagem, acima da capacidade de “foils” e rolos esgotadores mantendo a atividade;
- Aumentar a taxa de drenagem acima da capacidade de “foils” e rolos esgotadores eliminando a atividade.

Quando as lâminas “foils” entraram em cena para substituir os rolos desaguadores, houve um aumento no consumo de energia devido ao arrasto da água removida sobre uma superfície estacionária sob a tela. Houve a necessidade de se adequar a potência instalada na mesa para a nova demanda. O desenvolvimento de caixas de baixo vácuo veio logo após, numa tentativa de substituir os rolos desaguadores e os “foils”, o que adicionou uma carga ainda maior para o acionamento da mesa. Toda essa problemática levou ao estudo criterioso de cada um destes equipamentos em separado e em conjunto, levando ao surgimento de uma nova forma de enfoque chamada de “gerenciamento de água da mesa plana”. Este novo conceito mostrou que as caixas de baixo vácuo eram ideais para aumentar a consistência da folha na faixa de 1,4 a 3,5 % para papel jornal, e de 1 a 9 % para os outros tipos de papéis. A selagem da folha era um dos problemas que tinha que ser contornada na faixa de baixa consistência entre 0,8 a 1,4 %.

11.3.1.7. Caixas de alto vácuo

As caixas de alto vácuo, também conhecidas por caixas de sucção da tela, são revestidas por material plástico ou cerâmico, com aberturas de sucção do tipo rasgo ou orifício. Devido à sua dureza, o material cerâmico não se impregna com partículas duras (tais como quartzo), evitando desgastes localizados na tela.

A inovação destas caixas está no rasgo com abertura graduada de acordo com o nível de vácuo de trabalho, possibilitando maior drenagem na região onde é maior o volume de água e, ao mesmo tempo minimizando a entrada da tela no rasgo e, desta forma reduzindo a carga de acionamento.

A diferenciação entre as funções das caixas de baixo e alto vácuo poderá ser definida pelo diferencial de pressão de trabalho de cada uma. É relativamente fácil hoje obtermos a

linha úmida e seca em caixas de baixo vácuo com 1.150 mm C.A. (46" WG), de forma que a primeira caixa de alto vácuo trabalhará com vácuo acima de 100 mm Hg (4" Hg), o que corresponde, aproximadamente, a 1.360 mm C.A. De uma maneira geral, as caixas são usadas em grupos de 4 a 8, e o vácuo nelas aplicado cresce de caixa para caixa, no sentido da tela. As primeiras caixas retiram maiores quantidades de água do que as últimas e, colocadas em seqüência, recebem a folha com algo como a 4% e a deixam com cerca de 12% a 15%, mediante a aplicação crescente de níveis de vácuo, que podem ir de 1.000 mm C.A. até cerca de 2.500 mm C.A.

Com relação ao desempenho das caixas, a literatura diz que a partir da consistência próxima aos 7%, começa a fluir ar através dos grandes poros da folha. É, então, admitido que a passagem deste apreciável volume de ar tem mínimo efeito de enxugamento. Ao ser alcançado o limite de eficácia de um determinado nível de vácuo, a folha deverá passar para a caixa seguinte, onde um vácuo mais alto a comprimirá mais e capilares antes pequenos demais para serem esvaziados por aquela intensidade de sucção, o serão agora. Este conceito de compactação explica porque várias caixas com vácuo crescente removerão mais água que uma única caixa com largura correspondente ao total das caixas menores, e operando a um determinado nível de sucção.

A figura 11.21 mostra um projeto moderno de tampas com rasgos contínuos. A inovação no caso são os rasgos com abertura graduada de acordo com o nível de vácuo de trabalho, possibilitando maior drenagem onde é maior o volume de água e ao mesmo tempo minimizando a entrada da tela no rasgo e desta forma reduzindo a carga de acionamento.

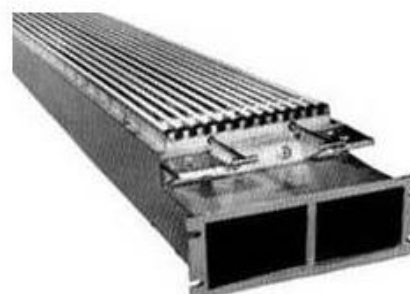


Figura 11.21 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11.3.1.8. Rolos de sucção (“couch”)

O rolo de sucção (figura 11.22) desempenha duas tarefas essenciais, a de ser o principal ou único acionador da tela e a de completar o desaguamento da folha na seção formadora da máquina, antes das prensas úmidas. Este rolo não tem seu nível de vácuo limitado pelo atrito como acontece com as caixas planas, pois sua camisa é rotativa.

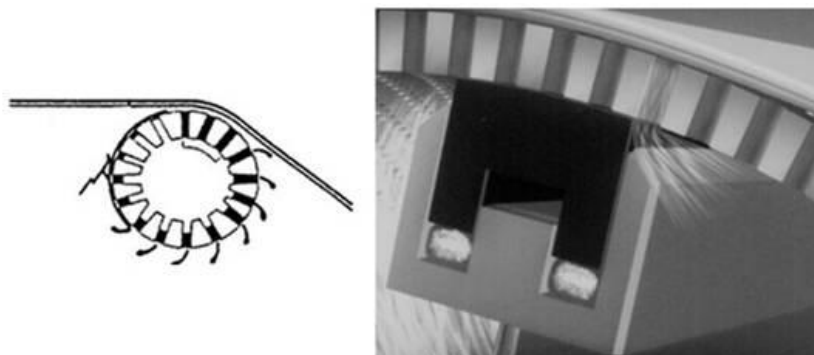


Figura 11.22 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Quanto maior o vácuo do “couch”, maior será a aderência da tela e a exclusão de deslizamentos os quais são extremamente prejudiciais. Aqui são aplicados níveis de vácuo iguais ou maiores que 8 m.c.a., permitindo alcançar teor seco da folha superior a 20%, talvez até 25%, dependendo do tipo de papel.

O rolo de sucção constitui-se de uma camisa (cilindro vazado) de metal anticorrosivo, quase sempre revestido com elastômero sintético, que favorece a aderência com a tela e protege a própria camisa, que é perfurada em toda a sua superfície e de uma caixa aspirante internamente fixada, que pode ter uma ou duas câmaras de sucção. A selagem dos contatos da caixa de vácuo estacionária contra a camisa rotativa é feita pressionando-se levemente barras, geralmente de grafite, e lubrificadas por chuveiro atomizador de água filtrada.

Há muitas controvérsias sobre a utilidade do rolo de sucção nas máquinas com velocidade acima de 650 m/min, já que a eficiência do rolo diminui com o aumento da velocidade. Um dos problemas se refere ao gasto com energia, pois se faz necessário uma bomba de vácuo somente para retirar o ar entranhado na tela e nos furos da camisa, quando entram na zona da câmara de vácuo do rolo.

Supondo uma máquina de papel a 750 m/min, possuindo um rolo “couch” uma câmara de vácuo de 200 mm de largura, o tempo de permanência é de apenas 16 centésimos de segundo. Dependendo da capacidade da bomba instalada e do nível de vácuo interno, a água arrastada da folha pela velocidade do ar, não tendo tempo para percorrer o furo e entrar na câmara de vácuo.

Deve-se instalar na saída do rolo uma calha com uma régua de feltro na borda superior, ajustada o mais possível da tela para recolher a água expelida dos furos, fazendo com que essa água não reumedeca a folha. Outro problema do rolo é a água que a camisa arrasta na sua superfície, proveniente da água expelida dos furos e que volta para o “nip” de entrada do rolo.

A instalação de uma régua com uma raspa de borracha ou feltro no retorno do rolo pode-se evitar este problema.

Praticamente, todos os rolos de sucção configuram-se em uma carcaça cilíndrica, perfurada de maneira adequada, com a finalidade específica de permitir a aplicação de vácuo em seu interior, na faixa de 60 a 82 kPa. Construído de bronze-liga, possui internamente, em toda a sua extensão, uma caixa ajustável, vedada sob pressão nas duas extremidades. A fricção com a tela não traz inconvenientes, pois o movimento do rolo aciona a tela. Possui ainda um dispositivo “cantilever”, que permite a suspensão da extremidade do lado da frente da máquina, possibilitando a colocação de tela ou feltro. Os rolos de sucção podem ainda ser aplicados em lugares da parte úmida da máquina, como prensa de sucção, prensa lava feltro, “pickup” e sucção do feltro.

11.3.1.9. Rolo “lump breaker”

Este rolo é definido originalmente como desmanchador ou “quebrador” de flocos de massa. Atualmente, porém, atua como rolo que exerce uma prensagem sobre a folha com o objetivo de elevar o seu teor seco. Maior teor seco significa maior resistência da folha e, portanto, mais segurança para a operação. O rolo “lump breaker” é posicionado de modo a exercer pressão sobre a câmara de vácuo do rolo “couch”, numa linha já próxima ao final da área aspirada. Este tipo de equipamento é característico de máquinas para papéis mais pesados como “kraftliner”, “testliner”, cartões e assemelhados, com aplicações mais raras em papéis leves. É praticamente ausente para papéis de impressão e escrita, devido à possibilidade de decalcar marcas de tela na folha.

A folha é prensada entre o “lump breaker” e a área fechada da camisa do rolo de sucção (figura 11.23). A água espremida da folha pelo “lump breaker” flui para trás até que surja um furo disponível, cujo vácuo fará que com a água entre no furo. Sem o “lump breaker”, somente 28% da água seria removida.

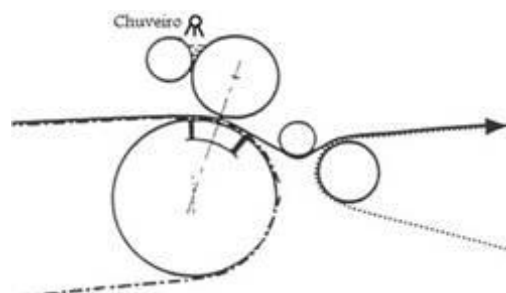


Figura 11.23 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel)

O elastômero usado no revestimento do rolo “lump breaker” é, consideravelmente, mais macio que aqueles das demais prensas. Também estão se tornando comuns rolos “lump breaker” feltrados, ou seja, tendo feltro próprio ou compartilhando o feltro da primeira prensa úmida, sempre com o objetivo de aumentar a capacidade de extração de água e de expor a

folha a menores riscos. Para compreender sua operação é preciso considerar que, revestimentos de borracha quanto mais moles forem, mais larga será sua área de contato (“nip”). No caso do “lump breaker”, a largura do “nip” está em torno de 50 milímetros.

11.3.1.10. Rolo bailarino

O rolo bailarino configura-se num importante dispositivo para a melhoria da qualidade da folha, tanto na formação, como na uniformização do perfil de umidade e gramatura. Pode ser utilizado também para gerar as denominadas ‘marcas d’água’, usadas principalmente em papéis de segurança. A melhoria da formação obtida com o bailarino é devida a uma melhor distribuição das fibras, isto é, menor variação na densidade ótica da folha. Tal melhoria é limitada por uma faixa de tamanho de flocos, que varia de 0,4 a 2,5 mm. O bailarino é instalado em uma posição antes da linha seca, onde ainda exista um filme de água livre sob a superfície, em uma faixa de consistência de 2,0 a 3,0%.

Ele somente poderá ser aplicado em zona de drenagem, onde a deposição das fibras na manta esteja quase completa e onde somente haja um fino filme de água livre sem as fibras em suspensão.

O efeito de alisamento do bailarino é consequência do cisalhamento que se desenvolve na entrada do “nip” do rolo na fina camada sem material em suspensão, sobre a manta já formada. A pressão hidráulica na camada de água, para parcialmente suportar a carga do rolo, gera uma perda de velocidade da suspensão. O cisalhamento resultante é consequência desse diferencial de velocidade. Este efeito é maior na superfície superior do papel onde a ação de melhoria ocorre.

A Figura 11.24 mostra um bailarino com uma caixa de baixo-vácuo de cada lado e com acionamento positivo, que pode ser feito por meio de correias ou juntas. As juntas podem introduzir vibrações e oscilações indesejáveis, enquanto que o acionamento por correias exige cuidados para se evitar escorregamentos.

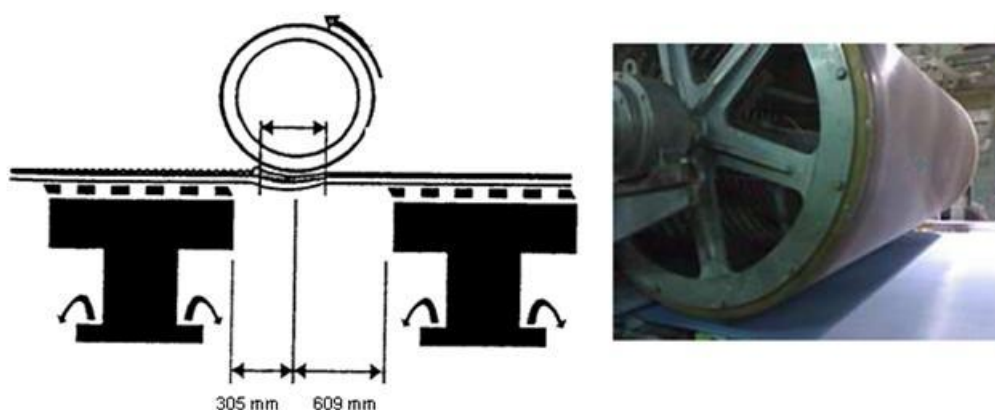


Figura 11.24 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A água espirrada pelo bailarino requer uma tensão especial, para evitar que os pingos de água caiam sobre a folha seca, deixando marcas. Se for necessária uma consistência de 3% para operar o bailarino, obviamente deverá haver número suficiente de caixas de baixo-vácuo instaladas antes do bailarino para controlar e garantir esta consistência. Após o bailarino, e fora da zona da queda de água espirrada, uma caixa dupla de baixo-vácuo levará a consistência até 8 a 10%. A caixa dupla com controle de vácuo diferenciado para cada câmara possibilita uma maior flexibilidade de operação.

11.3.1.11. Tela formadora

O elemento mais importante da mesa plana é a tela formadora. Todos os outros componentes, os quais incluem rolo cabeceira, “forming board”, rolos desgotadores, “foils”, “vacuum foils”, caixa de vácuo etc. são acessórios destinados também a condicionar seu uso, aumentando sua durabilidade. A principal função da tela formadora é dar suporte à suspensão de fibras que sai da caixa de entrada, permitindo a drenagem da água que acompanha as fibras, e através da ação dos elementos de drenagem propiciar ao papel boa resistência e boa formação.

Inicialmente, as telas eram de bronze, todavia tal material apresentava inconvenientes tais como extrema facilidade para formar vincos, amassamentos (não elásticos), pouca durabilidade, maior desgaste e tempo longo para substituição.

Atualmente, uma tela formadora para a parte de formação de folha de uma máquina de papel é composta de um tecido constituído de mais de uma camada de fios sintéticos (poliéster, poliamida, polipropileno, “nylon”), de textura particularmente plana, com fios longitudinais que se estendem no sentido de operação da máquina e fios transversais dispostos transversalmente àqueles, sendo que um grupo de fios transversais situa-se no plano voltado para o papel, flutuando ali sobre fios longitudinais cujo número é, pelo menos, tão grande quanto o número de fios sobre os quais os fios longitudinais flutuam do lado voltado para o papel, e em que o plano voltado para a máquina é formado exclusivamente de um segundo grupo de fios transversais. Os fios sintéticos proporcionam grande flexibilidade, maior duração e menos tempo para a substituição. A figura 11.25 mostra alguns tipos de telas formadoras, por exemplo.

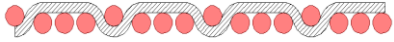
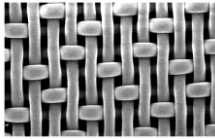
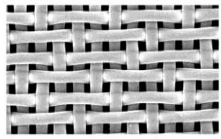
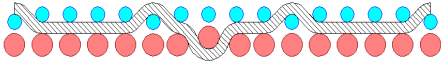
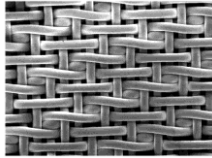
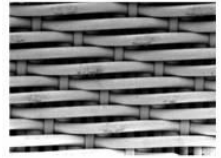
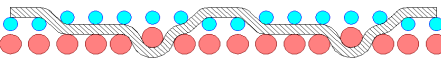
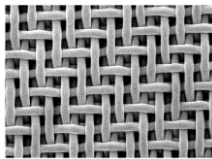
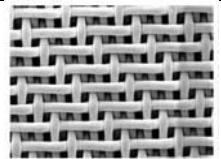
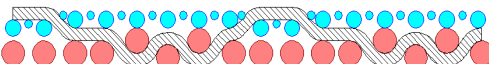
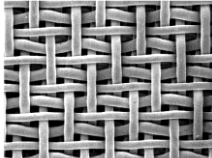
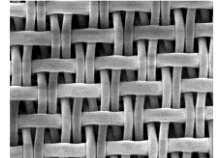
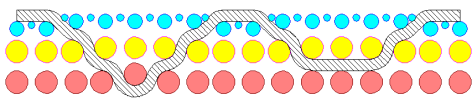
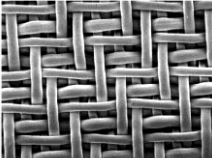
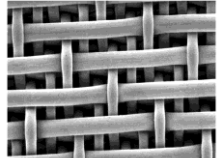
TIPO DE TELA	LADO PAPEL	LADO FELTRO
 <p>MONOCAMADA</p>		
 <p>CAMADA E MEIA</p>		
 <p>DUPLA CAMADA</p>		
 <p>DUPLA CAMADA E MEIA</p>		
 <p>TRIPLA CAMADA</p>		

Figura 11.25 (FONTE: Kufferath)

Técnicas modernas de fiação permitem que as telas sejam tecidas em variados tamanhos e diferentes desenhos no tecido. Contudo, na escolha de uma tela para se fabricar algum tipo de papel, os seguintes itens devem ser observados: tipo de papel a ser fabricado, tipo de fibras a serem utilizadas, grau de refino da massa, velocidade da máquina, comprimento da tela, disponibilidade de vácuo (caixas de sucção). Estas informações são essenciais para que se consiga a tela adequada para o papel a ser produzido, obtém-se assim sua maior durabilidade, eficiência de retenção e boa drenabilidade.

11.3.2. Formadores de forma redonda

O motivo principal para que se mantenha em funcionamento uma máquina de formas redondas (figura 11.26) é a sua versatilidade, que consente fabricar um produto, quase sempre um cartão multicamadas de alta gramatura, com boa qualidade e aparência a partir de uma instalação relativamente simples e matérias primas de menor custo. Com este tipo de máquina

é possível sobrepor camadas compostas de materiais fibrosos diferentes adicionados a produtos químicos específicos tais como colas, corantes, resinas e outros, dando características bem definidas em cada camada.

A formação da folha na forma redonda acontece com o envio da massa diluída nos padrões de consistência usuais, para uma tina dentro da qual uma forma construída em armação metálica e revestida com tela gira, submersa na sua maior parte.

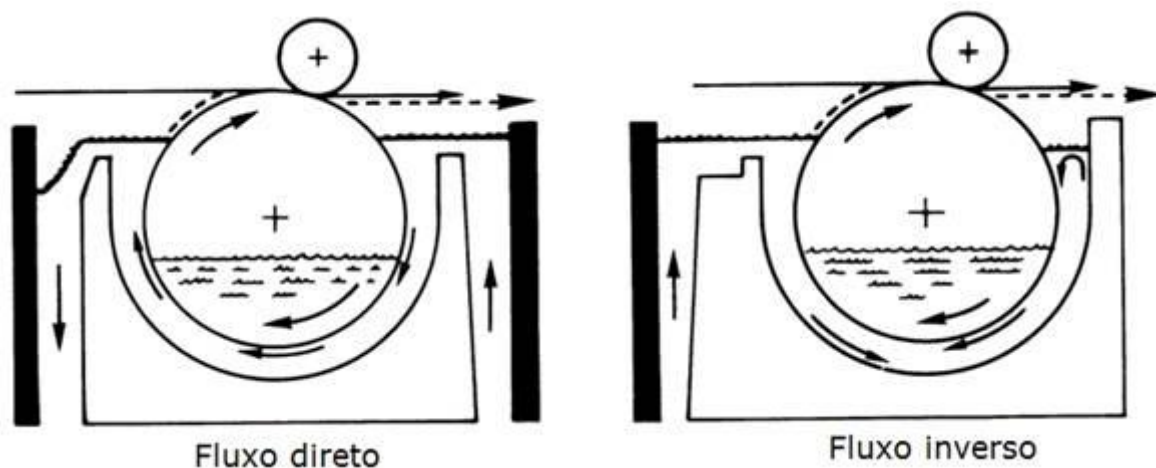


Figura 11.26 (Paper Machine Felts and Fabrics – Albany International)

A deposição das fibras sobre a tela da forma redonda ocorre por drenagem provocada pela pressão estática decorrente da diferença de nível, ajustável entre a massa da tina e a água no interior da forma. A água será descarregada pela lateral da forma para o sistema de recirculação da água branca.

Alguns desenvolvimentos foram feitos para superar os problemas e limitações deste tipo de formador. Como exemplos se podem citar o formador Stevens e BRDA, mostrados na figura 11.27. Entretanto, com as várias opções de formadores com tela, capazes de produzir as altas gramaturas solicitadas pelo mercado, os formadores forma redonda vem sendo substituídos por aqueles equipamentos.

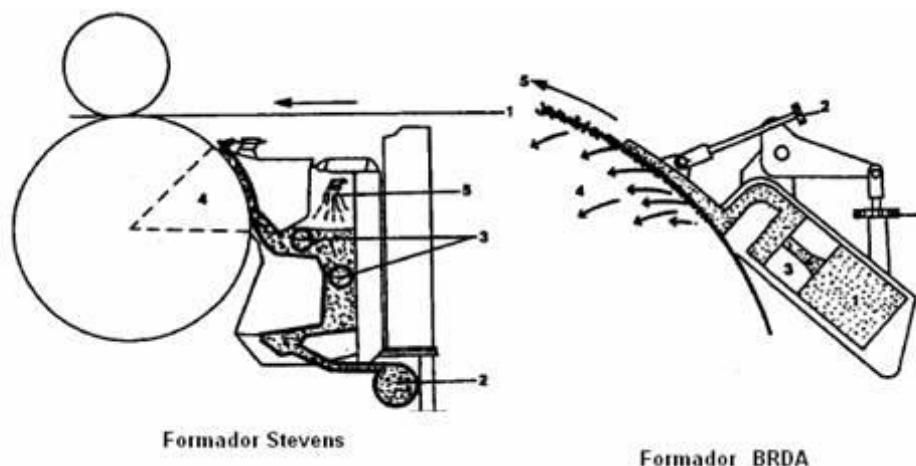


Figura 11.27 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11.3.3. Formadores de tela dupla

Ainda que o “Fourdrinier” continue sendo fabricado para algumas finalidades, como papéis de gramatura mais alta ou multicamadas, por exemplo, são bastante familiares as limitações inerentes à sua configuração. Trata-se principalmente de limitação na capacidade de desaguamento e de deficiências quanto às características superficiais e de simetria da folha, assim como ao controle de seu perfil transversal.

Para superar estas limitações foram desenvolvidos os formadores de tela dupla, assim denominados porque a totalidade ou parte do processo de formação se realiza sobre duas telas que aprisionam a suspensão fibrosa. Estes formadores consentem grande capacidade de desaguamento sem a aplicação de turbulências enérgicas feitas por muitos elementos de drenagem, além de somar vantagens como economia de energia e de espaço.

Ainda que possam ser ditadas ações precedentes, uma patente em 1.875 e uma prensa de pastas da KMW de dupla tela nos anos 1.920, até a década de 1.950 não iniciaram as investigações e desenvolvimentos que são a base das atuais instalações industriais deste tipo. No ano de 1.933, **Webster** desenvolveu uma máquina experimental de dupla tela e no ano 1.958, **Attwood** e colaboradores construíram na St. Anne Board Mill, Inglaterra, uma máquina com duplas telas (Inverform) para a fabricação de cartão multicapas. Nesta primeira máquina, foram colocadas sobre uma larga estrutura de mesa plana, diversas caixas de entrada convencionais seguidas de telas superiores através das quais se realizava a drenagem. Após isto, muitos outros desenvolvimentos foram feitos ligados à formação com dupla tela. A figura 11.28 mostra alguns destes desenvolvimentos.

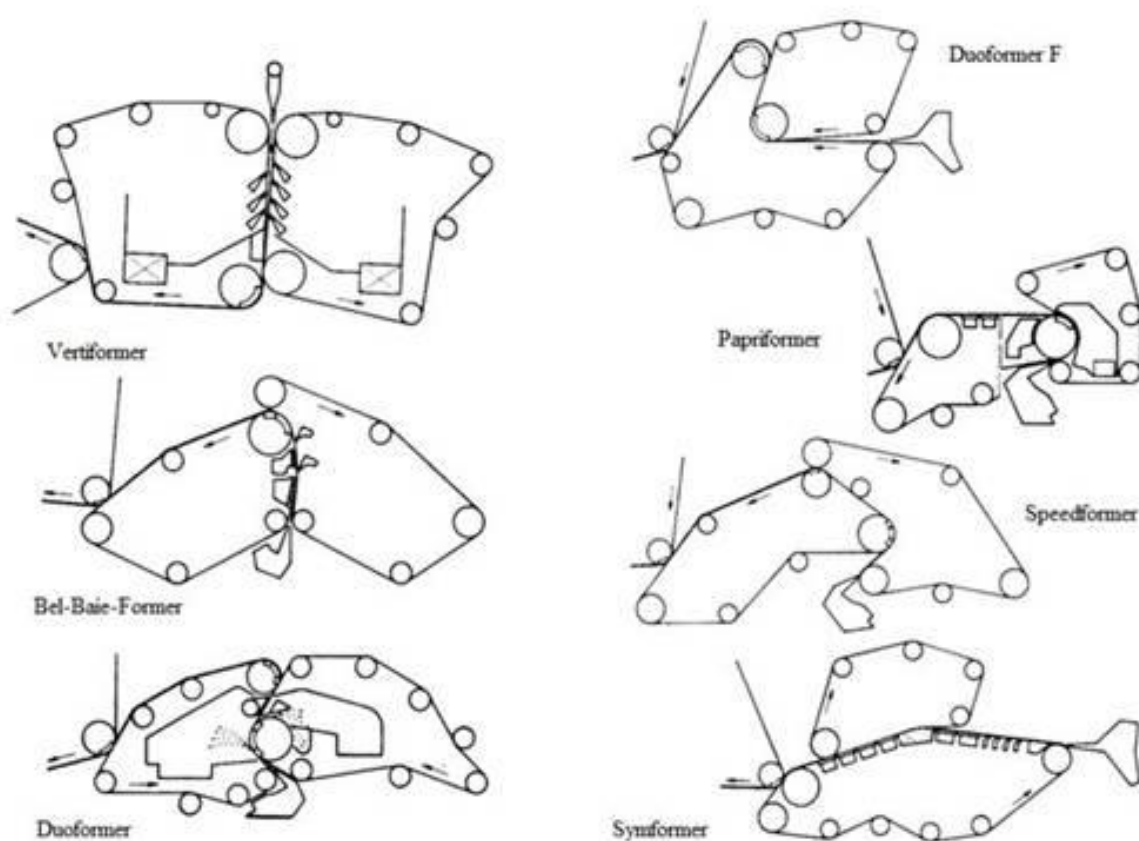


Figura 11.28 (FONTE: Papiermacher Taschenbuch)

Nos formadores genuinamente de tela dupla, como mostra a figura 12.29, o desempenho da caixa de entrada é crítico visto que a fixação das fibras, ou seja, a formação é quase imediata e a sua qualidade dependerá quase que exclusivamente do grau de dispersão das fibras conseguido pela caixa de entrada, do ângulo correto de seu jato e da sua uniformidade.

A massa é lançada entre duas telas que se apresentam com percurso convergente (figura 11.29) e, dependendo do modelo do formador, o desaguamento poderá iniciar em um dos lados ou acontecer simultaneamente em ambas as direções. Desta forma, as duas telas exercem uma ação de espremedura sobre a massa, pois as telas são forçadas a convergir percorrendo um trajeto em curva. Esta geometria elimina os três problemas de uma mesa plana. O trajeto curvo introduz cisalhamento na massa, a ação de espremedura introduz uma força que não é limitada pela atmosfera e a drenagem forçada não permite a selagem da folha.

De qualquer modo, a área de formação será sempre muito curta que a praticada nos formadores híbridos ou “Fourdrinier”. Isto aumenta ainda mais a responsabilidade da caixa de

entrada. Esta área de formação muito curta dificulta também a produção de papéis de gramatura alta.

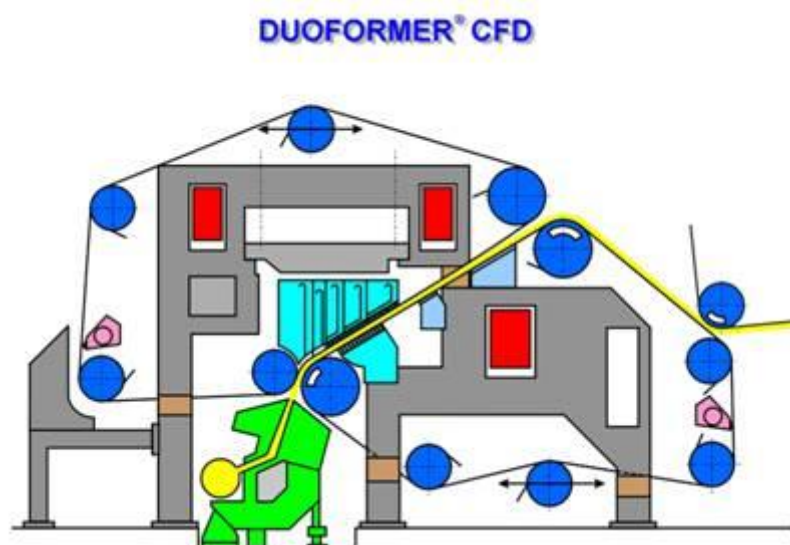


Figura 11.29 (FONTE: ABTCP/Voith)

A intensidade da drenagem em tela dupla é função da mudança do sentido da marcha das telas (momento) e do ajuste da sua tensão, além do desenho dos desaguadores instalados, das características das telas e, obviamente, das propriedades da massa. Quando as telas se movimentam ao longo de um percurso curvo, como é o caso dos formadores de dupla tela, a força centrífuga age sobre a camada fibrosa com seu efeito orientado para o lado externo da tela e a grandeza dessa força vem dada por:

$$P' = ph(V^2/r)$$

Onde:

P' : pressão centrífuga;

p : massa volumétrica da suspensão fibrosa;

V : a velocidade periférica da suspensão fibrosa;

r : o raio de curvatura da tela.

Uma tensão suplementar aplicada à tela externa criará uma pressão adicional que irá se contrapor à força centrífuga e com isso será possível algum controle da drenagem em ambos lados da folha. Ao efeito centrífugo pode também ser contraposto, além da tensão da tela externa, algum vácuo como forma de equilibrar as condições de desaguamento. É necessário lembrar que estes conceitos perdem a aparente simplicidade quando melhor analisados em seus aspectos tecnológicos.

Nos tipos de formadores onde a maior quantidade de água é removida por defletores estacionários sobre os quais correm as telas (percurso curvo), a pressão exercida será dada sempre por T/R (tensão/raio) (figura 11.30). Nos espaços entre defletores onde as telas correm retas não haverá drenagem pelo fato de que as duas telas correndo paralelas não podem gerar ou manter pressão em seu interior.

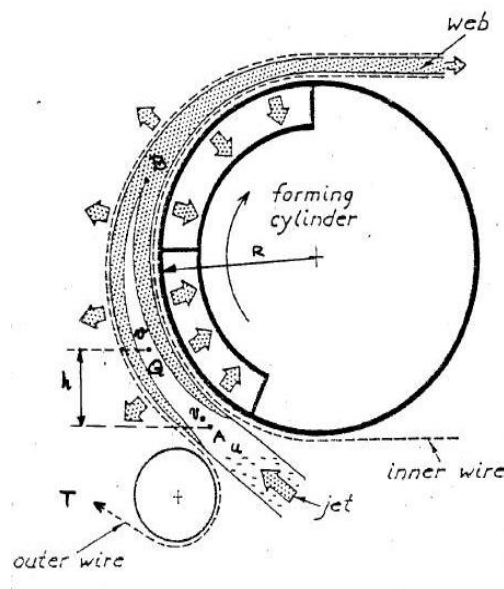


Figura 11.30 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Os elementos estacionários produzem forças cisalhantes bastante fortes que podem acelerar a formação, mas à custa do nível de retenção. O perfil de gramatura pode também ser inferior àquele conseguido com formadores de rolos.

O continuado desenvolvimento dos formadores em geral tende, contudo, a uniformizar os desempenhos, com diferenças de desenho que produzem adequar cada sistema à classe de produtos a fabricar.

11.3.4. Formadores híbridos

As vantagens oferecidas pelos formadores de dupla tela, propriamente ditos, levaram ao desenvolvimento de configurações assemelhadas que permitissem dar às máquinas “Fourdrinier” existentes regimes de produção e padrões de qualidade compatíveis com aquelas de tela dupla. Assim surgiu o formador normalmente definido como híbrido (figuras 11.31 e 11.32), por ser combinação de “Fourdrinier” e tela dupla.

De fato, uma segunda tela instalada sobre aquela da mesa plana convencional aumentava grandemente o desaguamento e a simetria do produto.

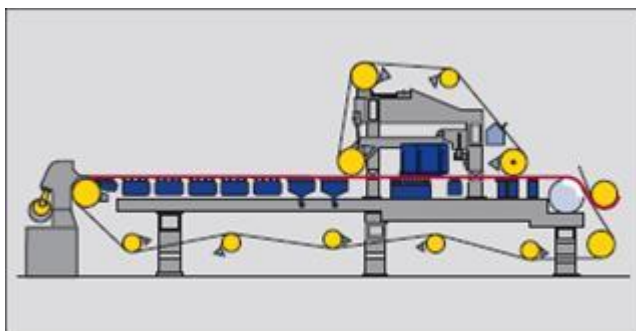


Figura 11.31 (FONTE: ABTCP / Voith)



Figura 11.32 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Nota-se neles uma zona de pré-desaguamento correspondente à zona inicial da mesa plana, com rolo de cabeceira, “foils” e, normalmente, caixas de sucção úmida. Nesta parte, é iniciada a formação da folha. É a fase da macro-formação, onde ainda é possível dissipar alguma irregularidade do fluxo proveniente da caixa de entrada e se dar orientação das fibras antes da formação serem consolidadas entre as duas telas. O desaguamento prossegue agora em ambos os lados da folha com sua intensidade governada pela geometria da tela superior e pelos níveis de vácuo, aqui aplicados.

Ainda assim, também este modelo de formação apresenta certas carências tais como: maior tendência de marcas na tela, a retenção mais baixa, a elevada perda de finos, a escassa melhoria na qualidade da formação quando operando com velocidades baixas e o risco de maior incidência de macro-poros (“pin holes”).

Como regra geral, os formadores híbridos de rolos tendem a favorecer a retenção dada a ausência de pulsos turbulentos e a aplicação gradativa de pressão. Favorecem ainda o perfil transversal de gramatura e a simetria, mas podem ter formação algo inferior e causar marcação da tela.

11.3.5. “Crescent former”

Este sistema, específico para a fabricação de papéis “tissue”, é constituído por um rolo formador sólido em que o fluxo da caixa de entrada é direcionado entre a tela formadora e o feltro, forçando o desaguamento por centrifugação através da

tela (figura 11.33). Na separação da tela e feltro, o papel acompanha naturalmente o feltro. Este sistema possui a vantagem de não necessitar do sistema “pick up” para transferência da folha ao feltro.

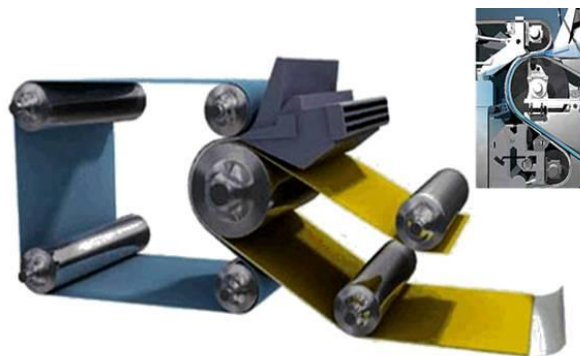


Figura 11.33 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

Outro ponto importante a se observar no sistema “crescent former” é a não existência de elementos desaguadores na parte da tela que provocam atrito na mesma desgastando-a de uma maneira prematura.

11.3.6. Tela inclinada com rolo formador de sucção

Este tipo de formado também é específico para máquinas de papel “tissue”. O lábio superior da caixa de entrada possui sua parte frontal prolongada envolvendo o rolo formador de sucção. O fluxo de água e massa é direcionado contra o rolo formador de sucção (figura 11.34).

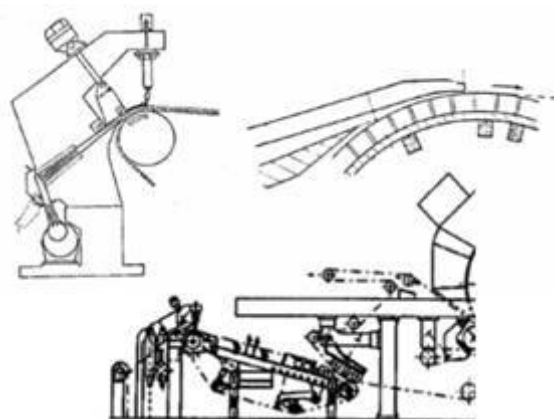


Figura 11.34 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

Este rolo é constituído de duas ou três zonas de sucção (esta variação depende do fabricante), recoberto por uma camisa sintética que provoca a drenagem removendo a água por sucção e lançando-a para a calha da mesa da tela. Pode-se considerar que este rolo é responsável pela formação e, aproximadamente, pela drenagem total da água da parte da tela formadora.

11.3.7. Formadores para cartão

Há uma variedade enorme de formadores exclusivo para cartão. A figura 11.35 mostra um exemplo deste tipo de formador. No caso, tratam-se de mesas planas “standart” para “White Lined Chipboard”.

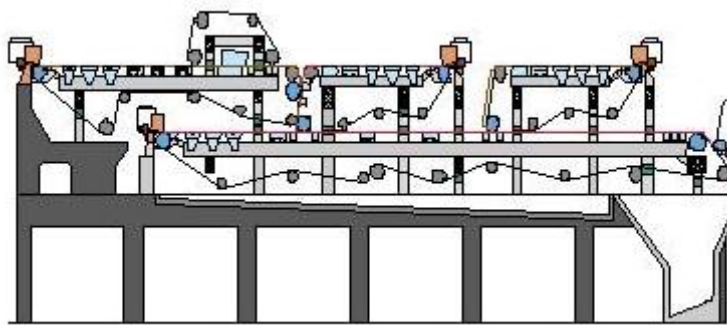


Figura 11.35 (FONTE: ABTCP / Voith)

12. TRANSFERÊNCIA DA FOLHA DA ETAPA DE FORMAÇÃO PARA A PRENSAGEM

12.1. Transferência da folha sem suporte

A primeira consideração numa máquina com prensa de passagem aberta é a transferência da folha na passagem aberta. Estas transferências são feitas geralmente de duas maneiras: diretamente do rolo de sucção “couch” em mesa plana sem rolo de retorno ou numa transferência de tela inclinada, em mesas planas com rolo de retorno da tela (algumas vezes chamado “poor pick-up” - pick-up pobre) (figura 12.01).

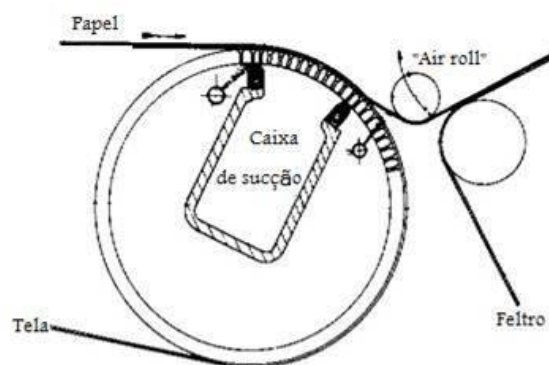


Figura 12.01 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

A transferência de folha sem suporte é limitada geralmente em máquinas com velocidades até 600 m/min em papéis de maior gramatura e resistência, e 450 m/min para papéis de mais baixa gramatura.

12.2. Transferência com “pick-up”

O sistema de transferência tipo “pick-up” é uma evolução de outro sistema denominado transferência aberta (“open draw”), com a introdução de um rolo-guia para a tela, logo após o rolo de sucção (figura 12.02). A folha é transportada pela tela após deixar o rolo de sucção, e a caixa de vácuo desse rolo está colocada de tal maneira para que não haja respingos de água na tela.

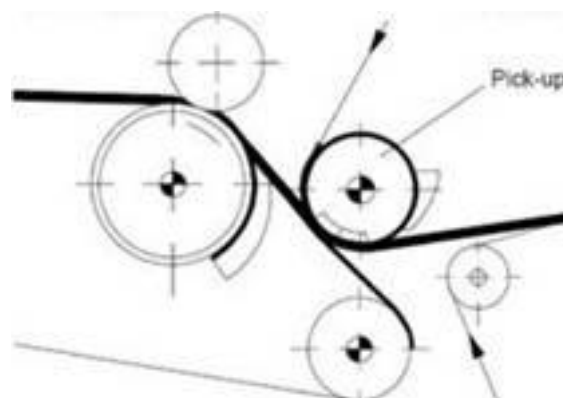


Figura 12.02 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O sistema “pick-up” tradicional com altas velocidades, e o simples “pick-up” com velocidades baixas foi substituído em muitos casos pelo sistema “pick-up” com tubo de sucção garantindo uma condução da folha impecável com custos de investimentos relativamente baixos. Há também o desenvolvimento de um sistema “pick-up” como um simples “foil”. O pouco vácuo formado no “foil” é suficiente para separar a folha da tela e deixá-la seguir com o feltro pegador.

Com o sistema “pick-up” surgem alguns problemas como o refilo jateado no momento em que este é conduzido sobre o secador grande e precisa ser retirado à mão, ou por um sistema de aspiração no raspador de crepagem. Foram alcançados bons resultados com curtos tubos de sucção reagindo contra o tubo “pick-up” no lado da tela inferior e segurando os refilos na tela. Estes são retirados com um esguicho por cima do tanque de uma cunha (“couch pit”).

No caso das máquinas de papel tipo “crescent former”, por exemplo, não há necessidade do sistema de transferência por “pick up” ou sem suporte, pois a transferência é feita por ocasião da formação da folha (tela / feltro).

13. PRENSAGEM

13.1. INTRODUÇÃO

É sabido que a melhoria de 1% do teor seco na seção de prensas constitui uma economia de mais de 4% de vapor na seção de secagem.

Por isto sempre se tem concentrado a atenção na parte úmida, posto que nesta zona consegue-se a eficiência de máquina. Isto tem levado inicialmente a adoção de prensas cada vez mais duras, com pressões específicas mais elevadas. Depois se tem imposto a noção de tempo de prensagem, o que tem favorecido o desenvolvimento de prensas suaves, de grande

diâmetro (chamadas genericamente de “high-impulse”) e de prensas especiais de “nip” estendido (chamadas genericamente de “wide nip” capazes de prensar a folha por trechos muito mais largos. As aplicações destas prensas são já muito numerosas e nesta fase de transição podem encontrar-se os tipos mais diferentes segundo valores de “nip” e de pressão específica. A tabela 13.01 apresenta as características de algumas das prensas que se encontram na prática.

Tipos de prensas	Dureza (PJ)	Pressão (kgf/cm)	Largura do “nip” (mm)	Pressão específica (kgf/cm ²)
Aço	0	100 a 120	7 a 12	100 a 142
Ranhurada	5 a 10	80 a 100	15 a 20	50 a 53
Furos cegos	15 a 25	120 a 140	30 a 40	35 a 40
“High-impulse”	10 a 15	250 a 350	60 a 90	33 a 42
“Wide-nip”	0	1050	254	41

Tabela 13.01

As situações aqui indicadas complicam-se posteriormente já que muitas prensas trabalham com um só feltro, enquanto que outras trabalham com dois feltros. Trata-se, pois, de condições de trabalho extremamente variáveis as quais correspondem não tão somente valores de teor de seco obteníveis como também as outras características físicas da folha, como a rigidez, a espessura, o grau de lisura etc.

Certamente, os materiais de carga também são variáveis, o que complica ainda mais a busca de um mais alto teor seco compatíveis com as características aceitáveis de espessura e acabamento da folha.

Na prática nota-se que, enquanto as prensas muito duras e de “nip” estreito produzem teores de seco e graus mais baixos de acabamento da folha, as prensas medianamente suaves e de “nip” médio largo permitem muito bons teores de seco e graus de acabamento médios da folha. Por outro lado as prensas “high-impulse” (prensas jumbo) e “wide-nip” (prensas sapatas) permitem obter cada vez mais elevados teores de seco (sobretudo com papéis pesados e cartões). O limite de uso destas últimas prensas é precisamente o aumento da rugosidade do papel, enquanto que para os papéis mais leves há o fenômeno da reumidificação do feltro para a folha, o que contribui para baixar sensivelmente o teor de seco obtido teoricamente. A figura 13.01 mostra uma secção típica de prensas.

As numerosas aplicações de feltros de vários tipos têm deixado bem claro que as prensas das últimas gerações têm grandes potencialidades, que por outro lado estão (limitadas, sobretudo, por problemas de reumidificação e de acabamento) pelas características dos feltros, ainda que estes tenham tido uma evolução importante nos últimos anos.

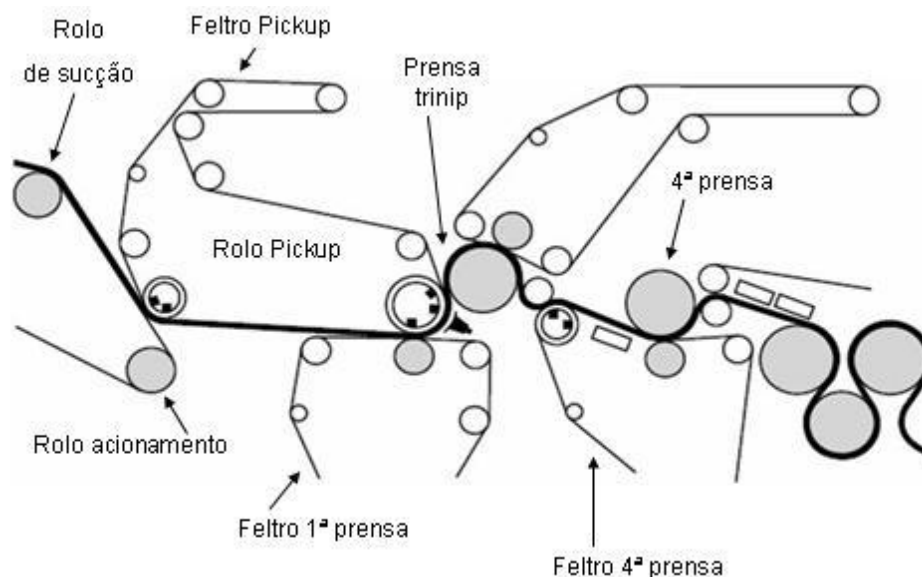


Figura 12.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

13.2. TEORIA DA PRENSAGEM

A prensagem úmida era originalmente baseada na compressão mecânica da folha de papel entre dois rolos sólidos. Esta compressão faz a água escoar a partir do “nip”, isto é, da linha de menor distância entre os rolos, através do rolo inferior. Em máquinas de baixa velocidade, o uso de rolos lisos e sólidos era um modo eficiente de remoção de água, mas não adequado em máquinas com velocidades altas, devido a necessidade de se retirar maior quantidade de água em menor tempo que a capacidade que os feltros possam comportar, causando assim o esmagamento da folha.

Nas máquinas atuais, a prensagem é feita com rolos de sucção que possuem capacidade de remoção de água muito maior que as prensas de rolos lisos. A remoção da água é efetuada pela ação combinada da compressão mecânica e da sucção, aplicada através da estrutura porosa do rolo inferior.

O fluxo longitudinal ocorre no feltro quando a água flui na direção oposta ao movimento do feltro, quando o mesmo está saturado antes ou após o centro do “nip”. Este tipo de fluxo está normalmente associado a prensa plana.

As prensas de sucção ranhuradas, de furos cegos ou de telas prensas, camisas encolhíveis ou feltros combinados são classificados como prensas de fluxo vertical. Isto se deve ao fato da água fluir perpendicularmente à superfície do feltro para espaços vazios incompressíveis, tais como os furos e ranhuras em um rolo ou entre ou entre as malhas de telas ou camisas, que se tornam receptáculos para a água. A pressão hidráulica é dramaticamente reduzida por este tipo de prensa. A teoria das prensas de fluxo vertical tem

vido muito importante no desenvolvimento de novas prensas e construções de vestimentas, e será, pois discutida detalhadamente. Na figura 13.02 aparece a remoção de água (redução do volume) pela ação da secagem.

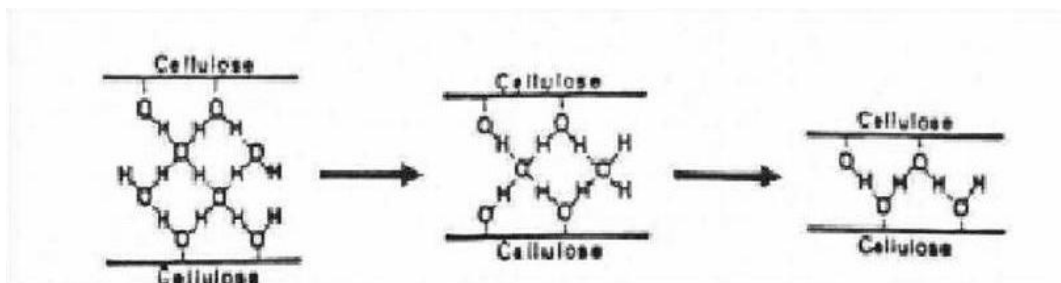


Figura 13.02(FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Diversos modelos foram estudados e discutidos para o conhecimento do que ocorria no nip de uma prensa. Eles estão baseados em estudos e experiências de laboratório, os quais foram extrapolados para uma condição real de prensagem.

O conceito básico de prensagem foi primeiramente formulado por **B.Wahlstrom** em 1960, e progressivamente refinado pelo próprio Wahlstrom e muitos outros, ocasionando no rápido desenvolvimento do conceito de prensagem.

O modelo matemático de **Wahlstrom** apresentado no ‘Simpósio Internacional de Prensagem e Secagem’ em 1968 é o mais difundido e foi de grande valia para o entendimento da prensagem entre os “nips” de pressão controlada e fluxo controlado.

Na figura 13.03 temos representado um “nip” de fluxo transversal definido por dois rolos sólidos, com a folha e feltro passando através do “nip”. Ambos estão insaturados na entrada do “nip”, e contém quantidade de água suficiente para atingir a saturação no centro do “nip” (“mid-nip”). A configuração geométrica, curvas de distribuição de pressão, mecanismos de transferência de água, e curvas de espessura da folha e feltro são mostrados para o “nip” de fluxo vertical.

A pressão aplicada na prensa é balanceada pelas forças opostas geradas pelo feltro e folha, e pode ser dividida em duas partes:

- Pressão do fluido (P1) gerada pelo movimento de água contido na folha e feltro.
- Pressão da estrutura fibrosa (P2) aplicada para a compressão da folha (pressão mecânica).

A pressão total em qualquer ponto do “nip” é igual a soma destes dois componentes: $P_t = P_1 + P_2$

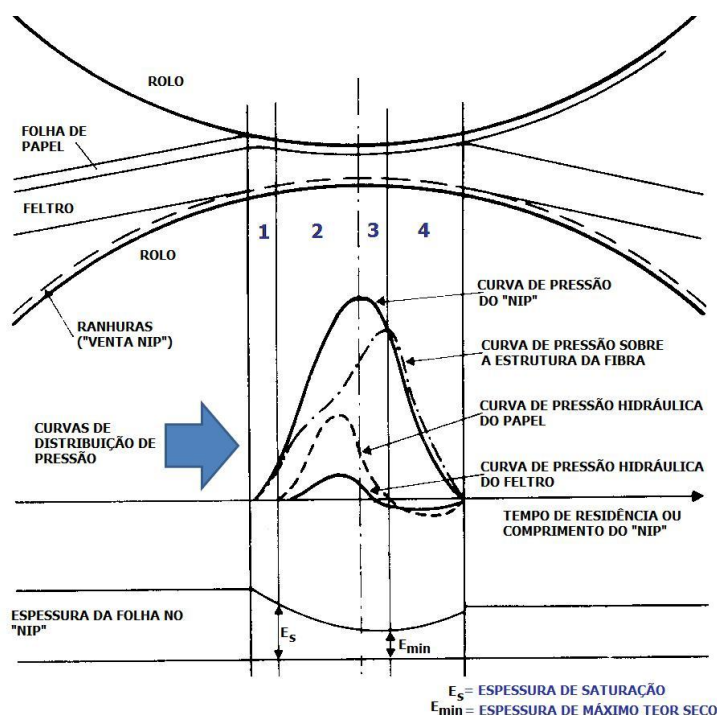


Figura 13.03 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Baseado na interação das pressões do fluido e da estrutura fibrosa, o “nip” pode ser dividido em quatro fases distintas:

- **1ª Fase: começa na entrada do “nip” onde inicia e termina a curva de pressão, até que a folha se torne saturada.** A pressão total na folha começa a crescer pela compressão exercida sob a carga da prensa. Nesta fase o ar escapa de ambos, feltro e papel. A pressão hidráulica ainda não existe. Feltro e folha estão ambos insaturados. O fluxo de água começa a acontecer através da ação de capilaridade ou pelo fluxo de duas fases, água e ar (é a substituição do ar pela água na estrutura capilar);

- **2ª Fase: vai do ponto de saturação até o meio do “nip”, ou mais precisamente até o ponto máximo da curva de pressão total do “nip”.** A folha está saturada e a pressão hidráulica cresce, espremendo a água da folha para o feltro. Se o feltro atinge a saturação, é gerada uma pressão hidráulica, resultando num fluxo de água do feltro para os receptáculos sobre o mesmo. Se o feltro não atinge a saturação, não haverá fluxo fora dele. A força de compressão na folha e no feltro aumenta durante esta fase. A pressão do fluido (hidráulico) no feltro e na folha atinge o máximo antes do meio do “nip”;

- **3ª Fase: vai do ponto máximo da curva de pressão no “nip”, até o ponto máximo de consistência da folha.** Isto significa que a folha atinge o máximo de teor seco após o meio do “nip”, uma vez que ainda existe um gradiente de pressão hidráulica entre a folha e o feltro.

Esta fase é uma parte da expansão do “nip”, e a folha permanece ainda no estado comprimido. O feltro deverá suportar toda a expansão. Em função de algum fluxo de água lateral do “nip”, o feltro pode estar saturado nesta fase. Se saturado, o feltro logo se torna insaturado, também pelo fluxo lateral. Isto cria um vácuo no feltro forçando o movimento de água no sentido inverso (o sistema começa a admitir ar).

- 4ª Fase: **a folha está o máximo de teor seco e vai reabsorver água do feltro.**

Também o vácuo devido à expansão será maior na folha do que no feltro, criando um fluxo de duas fases de ar e água dentro do feltro para a folha.

13.3. TIPOS DE PRENSAS

13.3.1. Prensa plana

A prensa plana é normalmente aplicada em máquinas com velocidades abaixo de 300 m/min, e posições onde a feltragem simples ou dupla seja suficiente para absorção de toda a água da folha (“nip” seco). No passado esta prensa estava associada ao fluxo horizontal e “nip” saturado. Hoje ela pode ser uma prensa de fluxo vertical, pois com a evolução dos feltros e condicionamento destes, a água removida da folha no “nip” é totalmente absorvida pelo feltro e desaguada na caixa de sucção.

A folha e o feltro entram no “nip”, a compressão aumenta e a água da folha enche os espaços vazios do feltro. Quando este atinge a saturação, a pressão hidráulica aumenta e a água é forçada a sair do feltro no sentido longitudinal, oposto ao do movimento do feltro. A resistência ao fluxo é alta devido ao longo trajeto e o efeito de bloqueio da estrutura dos fios no plano horizontal do feltro convencional (figura 13.04).

Conseqüentemente as possibilidades de remoção de água em uma prensa plana vestida com um feltro convencional são limitadas. Se a carga na prensa é aumentada acima de um valor relativamente pequeno, a pressão hidráulica sobe mais rapidamente do que a saída de água, terminando por esmagar a folha, as prensas se transformam em prensas de fluxo vertical quando se usam telas “fabric”, camisas plásticas encolhíveis ou feltros combinados.

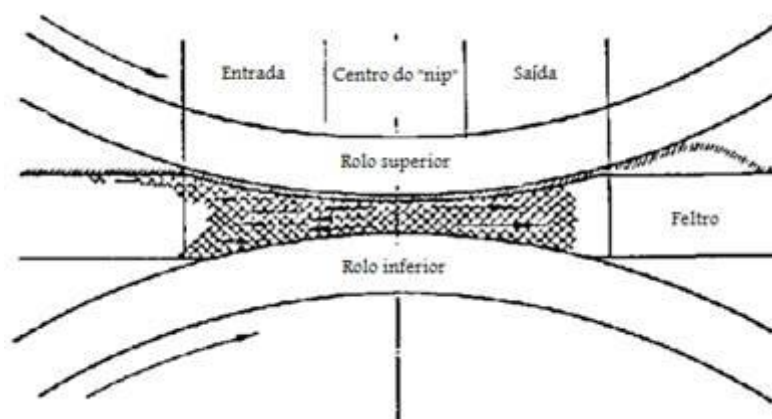


Figura 13.04 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

13.3.2. Prensa de sucção

Inicialmente desenvolvida para fugir do “nip” saturado comum nas prensas planas com feltros convencionais. Não é uma prensa 100% vertical, visto que a água flui parte verticalmente da folha para o feltro e parte da água no sentido horizontal na direção dos furos (figura 13.05). Acima de 300 m/min a água contida na furação do rolo é expulsa através da força centrífuga.

A distribuição de pressão não é uniforme, pois entre as áreas sólidas e de furação da camisa o desaguamento é desigual, resultando o sombreado da folha. Estas diferenças têm que ser eliminadas pela aplicação de feltros adequados formando pontes para a melhor distribuição de pressão e eliminação do sombreado em papéis mais leves.

A sua aplicação é dirigida em configurações de prensas fechadas “binip” ou “trinip” de papéis finos, e prensas combinadas na secagem de celulose. É uma prensa que está limitada à aplicação de maiores pressões, devido o núcleo do rolo não ser sólido. O custo de manutenção e instalação é elevado, e necessita de energia fornecida pela bomba de vácuo.

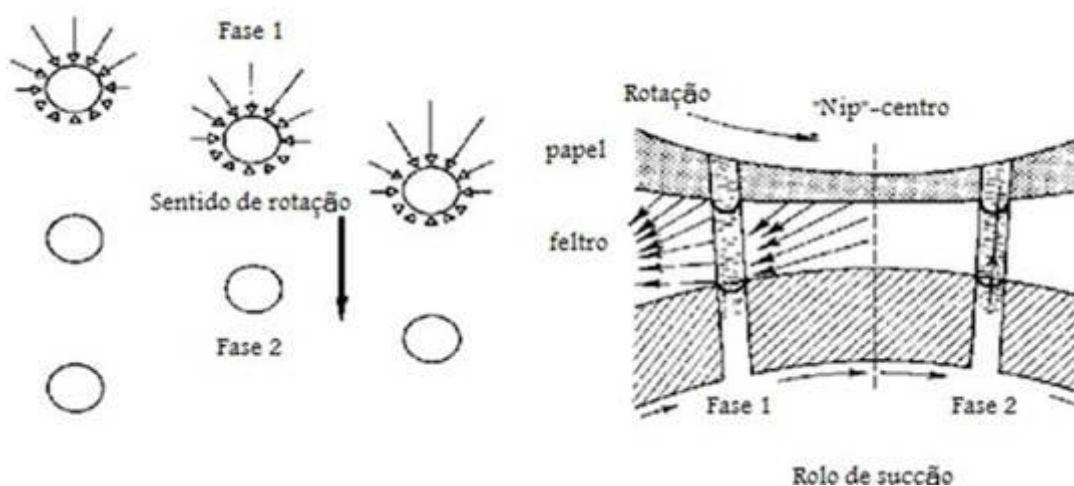


Figura 13.05 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

13.3.3. Prensas ventiladas

Podem ser de ranhuras ou furação cega. O fluxo é vertical e a água percorre menor caminho no “nip” do que as prensas de sucção. A água é removida pelo feltro e pelo rolo ventilado através da força centrífuga pelo efeito da velocidade. Para velocidades abaixo de 600 m/min é necessário o uso de raspas. Quando aplicadas em últimas prensas e velocidades acima de 1.000 m/min para papéis finos, além da água da folha é desaguada parte da água contida no feltro através da força centrífuga.

A prensa ranhurada está mais relacionada às últimas prensas de máquinas de alta velocidade, pois a dureza do revestimento é limitada entre 8 e 10 P&J. Isto evitaria o colapsamento das ranhuras. Estas prensas também têm demonstrado maior eficiência de desaguamento para papéis de imprimir e escrever para máquinas de alta velocidade.

Já a prensa de furação cego pode operar com durezas de revestimento de até 45 P&J, e o percurso da água no “nip” é reduzido em relação a prensa ranhurada, devido a furação cega permitir maior área para alojamento de água. Esta prensa tem sua aplicação direcionada para todos os papéis de embalagem e folhas com elevada gramatura, além de ser utilizada na 1ª Prensa do conceito “Trinip” de máquinas de alta velocidade.

Ambas as aplicações principalmente em folhas leves, necessita da correta aplicação de feltros para evitar o aparecimento de marcas (sombreado) das ranhuras ou da furação cega. A figura 13.06 apresenta detalhes destes dois tipos de prensas.

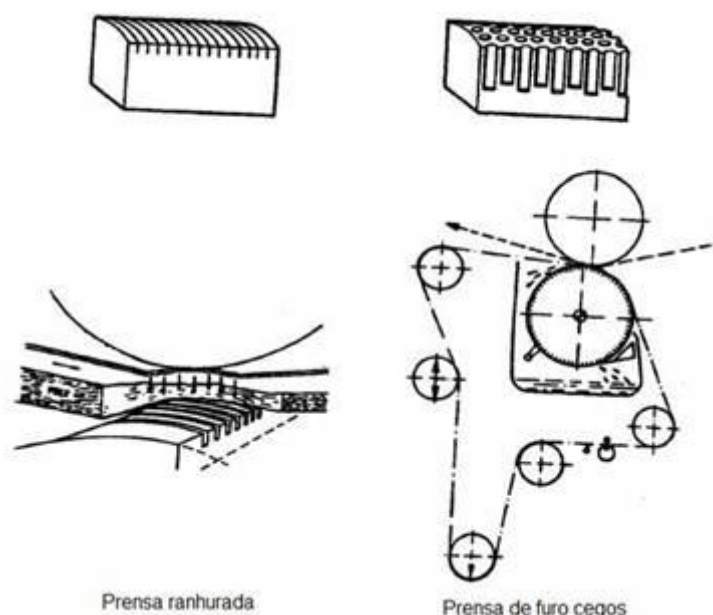


Figura 13.06 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

13.3.4. Prensa de alto impulso

Também chamadas de prensas de alto impacto (figura 13.07), prensa com rolos de grande diâmetro ou rolos “jumbo”, elas se utilizam do conceito de desaguamento de dupla face combinado com rolos de grande diâmetro e cargas acima de 250 kN/m. As prensas anteriores estavam limitadas a pressão de 200 kN/m com rolos de diâmetro aproximado de 1.000 mm.

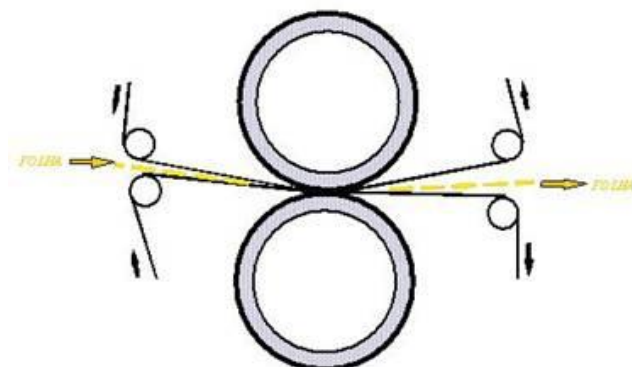


Figura 13.07 (FONTE: Apostila “Treinamento interno de fabricação de papel”- VCP)

O aumento do diâmetro dos rolos para no máximo 2.000 mm, permitiu o incremento da carga da prensa para 500 kN/m e larguras de “nip” de 100 mm foram alcançadas com dureza do revestimento de 15 a 20 P&J. Hoje elas são comercializadas com diâmetros de 1.200 a 1.500 mm e pressões de 250 a 350 kN/m, onde larguras de “nip” de 550 a 800 mm são reportadas para a mesma dureza de revestimento citado anteriormente. A preferência é por rolos de furação cega para garantir o máximo desempenho. As aplicações mais comuns estão associadas a papéis de embalagem e máquinas de secagem de celulose.

13.3.5. Prensas de sapata (“shoe press”)

As prensas de sapata foram desenvolvidas pela Beloit para superar os limites de aplicação de carga das prensas “jumbo”, e desta maneira incrementar a intensidade de prensagem. Isto foi feito através do uso de uma sapata estacionária côncava de aproximadamente 254 mm, rodando contra uma manta de poliuretano lubrificada e um rolo ranhurado superior (Figura 13.08).

A primeira unidade comercializada foi em 1.980 com carga linear de 1.050 kN/m. Hoje a carga máxima permitida é de 1.500 kN/m e a largura normal da sapata é 290 mm, devido principalmente as limitações do tamanho do rolo superior e estrutura. Uma prensa de sapata pode fornecer um aumento de teor seco de até 10%, quando comparado com uma prensa convencional.

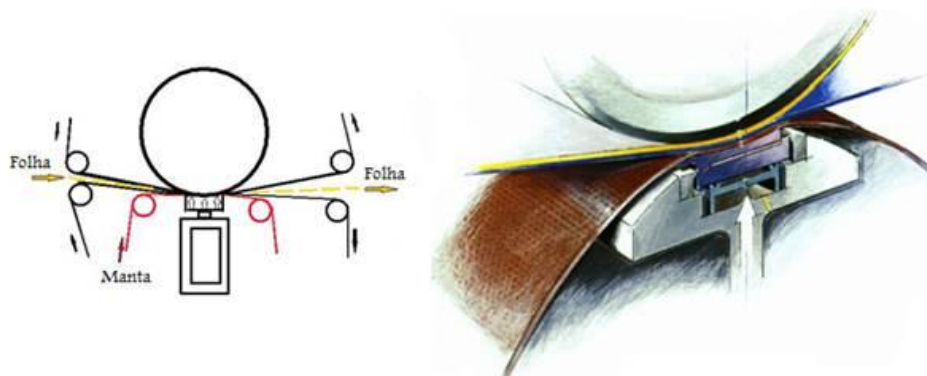


Figura 13.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Na Figura 13.09 temos uma comparação do pico de pressão e tempo de permanência para prensas convencionais, rolos de grande diâmetro e prensas de sapata. As diferenças observadas na redução do pico de pressão e aumento do tempo de permanência são significativas, e representam muito em ganhos de teor seco e eficiência operacional em papéis que requerem “nip” de fluxo controlado.



Figura 13.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As atuais prensas de sapata, independente do fornecedor, são de conceito fechado, implementação esta efetuada visando a melhor eficiência de prensagem e de operação, além das facilidades operacionais oferecidas pelo sistema mais compacto.

A Figura 13.10 ilustra uma prensa de sapata fechada. A sapata é suportada sobre uma viga rígida e pressurizada contra uma camisa impermeável de poliuretano. A camisa lubrificada gira ao redor da sapata fixa pressionando o conjunto feltro/folha contra um rolo superior.

As prensas de sapata foram inicialmente projetadas para papéis de embalagem e máquinas de secagem de celulose (“nips” de fluxo controlado). Mas, hoje, pode ser utilizada para papéis finos, incluído papéis do tipo “tissue”.

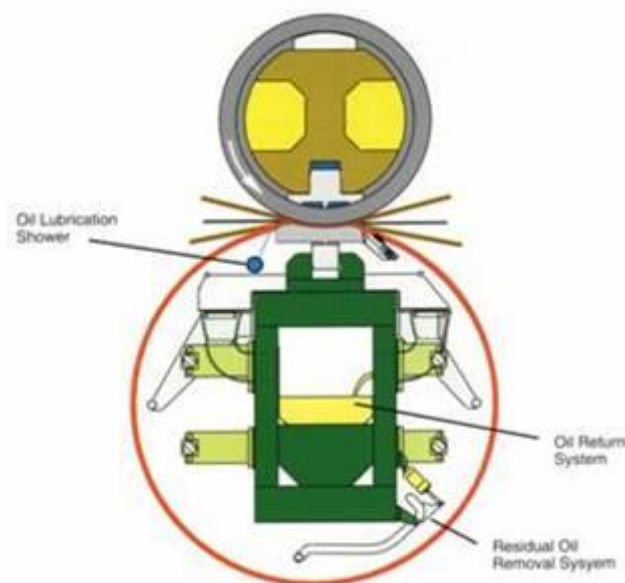


Figura 13.10 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

13.4. MATERIAS DE REVESTIMENTO DE ROLOS

Inicialmente os rolos de prensa eram revestidos de borracha natural que foi substituída por compostos à base de neoprene ou estireno com dureza variável. Estes rolos podem ser ou não ventilados. Rolos de poliuretano, especialmente para prensas ranhuradas, tornaram-se populares por sua resiliência e capacidade de absorver vibração, sendo bastante utilizados para máquinas de papel de impressão e escrita, com dureza variável conforma a aplicação. Para este tipo de máquinas são usados também rolos ranhurados de aço, os quais trabalham contra um rolo duro, formando um “nip” estreito e de alta intensidade para proporcionar elevados picos de pressão, visando maior desaguamento e um “nip” de pressão controlada.

Os rolos de granito para máquinas de alta velocidade também para máquinas de papel de impressão e escrita foram bastante empregados devido a suas propriedades de dureza, lisura e facilidade de soltar a folha. Devido a sua não uniformidade natural, alguns substitutos sintéticos estão sendo avaliados, os quais incluem cerâmica e aço na sua composição, resultando em rolos extremamente duros e aplicados em “nip” de pressão controlada.

13.4.1. Abaulamento (“bombé”) dos rolos das prensas

Quando a prensa é forçada contra o cilindro secador, devido à deflexão dos rolos, ocasionada pelo próprio peso e pela pressão externa aplicada, a distribuição de carga não é uniforme ao longo de todo o “nip”.

Para compensar esta variação e conseguir uma distribuição uniforme de carga no “nip”, o perfil da prensa obedece a uma curva cossenoidal, curva esta que denominamos abaulamento.

A maneira de checar que o abaulamento está correto e, conseqüentemente, a distribuição de carga no “nip” está correta, é através do que chamamos de impressão de “nip”, que nada mais é do que a impressão estática obtida quando colocamos no “nip” uma folha de papel alumínio ou duas folhas carbonatadas e aplicamos a carga normal de operação da prensa.

Na impressão obtida devemos observar a uniformidade em todo o comprimento da folha e na largura do “nip”. Ela nos indicará: se está correto o abaulamento e a dureza do revestimento da camisa da prensa; se existe variação de aplicação de carga pelos pistões da prensa, etc.

A seguir (figura 13.11) estão relacionados alguns tipos de impressão de “nip” que poderemos obter e suas possíveis causas:

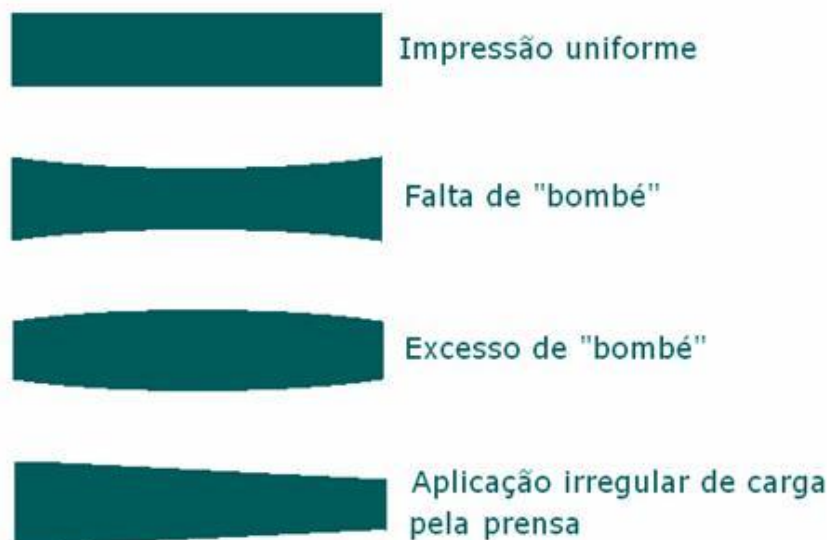


Figura 13.11 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

13.4.2. Feltros: características e condicionamento

Pode-se dizer que o objetivo principal de um sistema de prensas é eliminar água da folha, e para conseguir este objetivo, um elemento fundamental é o feltro. O feltro como componente de um sistema de prensas, tem o trabalho primário e fundamental na retirada de água do papel por prensagem, pois influi tanto na eliminação da água exprimida da folha, como em sua aparência e qualidade superficial. Obviamente, então, que utilizar um feltro

adequado às condições de operação e ao tipo de papel favorecerá as características e aspecto físico da folha.

No passado os feltros eram tecidos em lã e posteriormente feltrados, razão pela qual receberam este nome, o qual permanece nos dias de hoje mesmo havendo mudado seu processo de confecção. Os feltros atuais são constituídos de duas partes: a **base** composta por fios e normalmente tecida, e a **manta** que é formada por uma estrutura de fibras não tecidas (figura 13.12). A manta é mecanicamente ligada à base através do agulhamento. A base serve de fundamento para a estrutura do feltro. Geralmente, compõe-se de dois sistemas de fios, um no sentido da máquina e outro no sentido transversal.

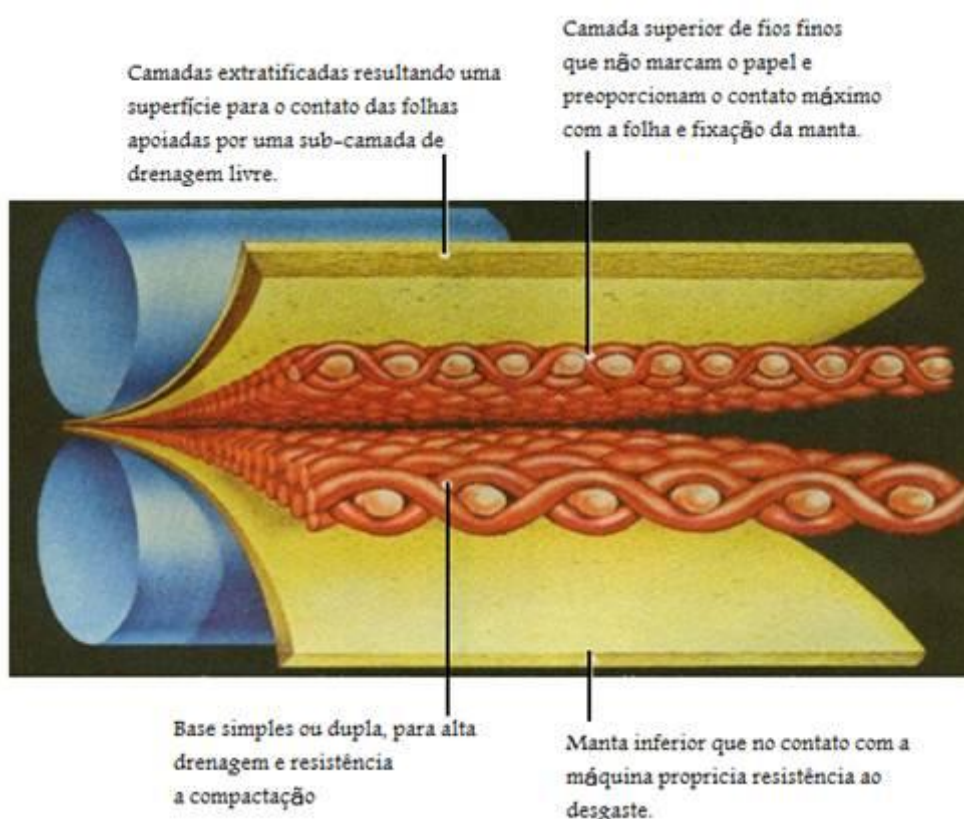


Figura 13.12 (Apostila: Básico de Fabricação de Papel – ABTCP)

Os ligamentos da base estabelecem a geometria pela qual os fios longitudinais (sentido da máquina) e transversais são entrelaçados. As variações dos ligamentos podem ser infinitas, mas normalmente são classificados de acordo com o número de lajes colocadas umas sobre as outras (figura 13.13). As bases mais comuns compõem-se de uma, duas ou três lajes. Existem dois métodos de se conseguir mais de uma laje que são: tecer a estrutura de base completa ou colocar uma laje sobre a outra, ou outras, durante o agulhamento.

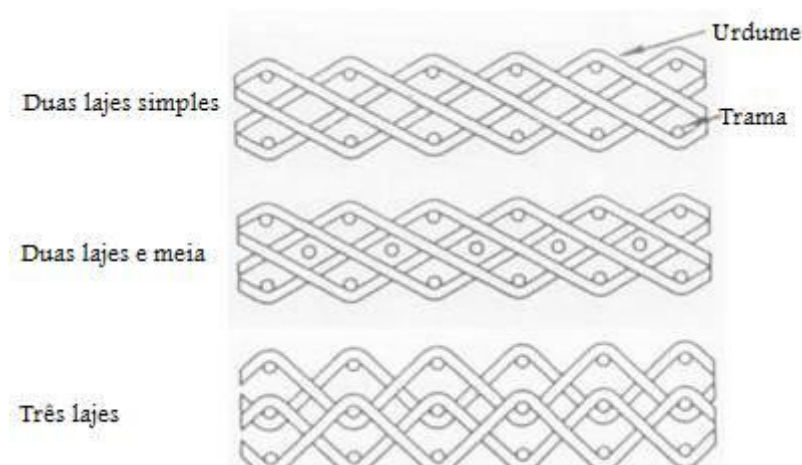


Figura 172 (FONTE: Apostila do curso de prensagem úmida do papel – ABTCP/Albany)

Com o aumento da velocidade das máquinas e pressões de “nip”, as relações percentuais entre base/manta vêm crescendo, e por isto os ligamentos passam a ser vitais nas vestimentas. Os diferentes ligamentos podem influenciar o volume vazio, a permeabilidade, a resiliência, a estabilidade, a resistência, o acabamento, além de outros.

Quanto mais manta é adicionada a uma base, mais importante ela se torna na determinação das propriedades do feltro. Assim, enquanto as características dos ligamentos têm grande influência na estabilidade e resistência das vestimentas agulhadas, estas mesmas características não influenciam a permeabilidade, o acabamento superficial e a compressibilidade, como acontecia nos feltros convencionais.

Na construção das bases podemos combinar diferentes tipos de materiais, diferentes tipos de fios e diferentes combinações de desenhos de tecelagem. As bases também podem ser combinadas formando o que se denomina feltro laminado.

A aplicação de feltros laminados teve um grande impulso na busca de soluções, principalmente quando se considera a qualidade da folha. A combinação de bases robustas com bases muito finas pode proporcionar elevada capacidade hidráulica e ao mesmo tempo acabamento superficial. Com isto é possível a aplicação de elevadas cargas na prensa com reduzido risco de marcação da folha. Outra vantagem do feltro com construção laminada é a de prensagem consistente ao longo da vida.

Resumindo o que foi dito, anteriormente, os principais objetivos do feltro são:

- Absorver a água retirada da folha no “nip” da prensa;
- Suportar a folha no “nip” para evitar seu esmagamento;
- Promover uma distribuição uniforme de pressão sobre a folha de papel;

- Promover um bom acabamento de superfície da folha;
- Equalizar a distribuição de pressão em áreas maciças e áreas ocas para eliminar ou reduzir “shadow mark” e “grooved mark”;
- Conduzir uma folha de uma posição para outra;
- Operar como uma correia de transmissão de potência, acionando os rolos não acionados das prensas.

E as principais propriedades do feltro são: resistência, estabilidade dimensional, permeabilidade (diz respeito a maior ou menor facilidade com que a água ou ar podem fluir através do feltro), baixa compressibilidade para manter os espaços vazios que devem receber a água da folha e resistência à abrasão, calor e produtos químicos.

13.4.2.1. Sistemas de Condicionamento

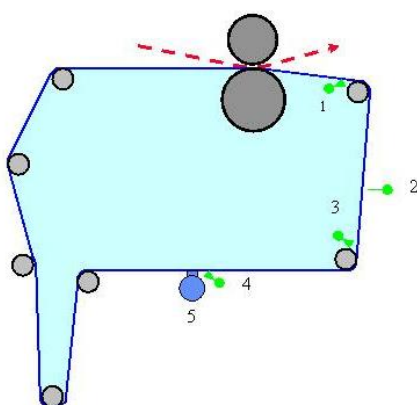
O incremento da eficiência do sistema de prensagem estaria relacionado a determinados fatores interdependentes entre si, as quais são:

- Redução da distância do fluxo de água no “nip”;
- Maximização da distribuição de pressão no “nip”;
- Otimização do fluxo de água no “nip”;
- Redução da pressão hidráulica no “nip”;
- Minimização do reumedecimento das folhas;
- Fornecimento de espaços vazios para a água no “nip”;
- Desaguamento da água contida nos espaços vazios;
- Manutenção dos espaços vazios limpos.

Portanto, de acordo com estes fatores, é essencial que os feltros sejam mantidos livres de materiais de entupimento, conservando volume vazio adequado no “nip” por maior tempo de operação possível. Isto é conseguido pela correta aplicação de estilos de feltros perfeitamente condicionados. Os feltros atuais “multilajes” são normalmente retirados de máquina por compactação. Existem determinadas posições onde o entupimento é fator determinante para a substituição dos feltros, e poucas as quais são constatados desgastes mecânicos ou químicos. Os materiais de entupimento comumente encontrados no corpo dos feltros são fibras e fibrilas em forma de finos, extratos resinosos provenientes do processo, “pitches”, “stickies”, aditivos químicos e cargas utilizadas na fabricação de papel. Podem-se dividir estes materiais em cinco categorias:

- Solúveis em álcalis: são normalmente materiais orgânicos provenientes do próprio processo, como a lignina da madeira, amido, cola de breu e outros incorporados como aditivos;
- Finos de papel: são pequenas partículas de fibras que penetram mais nas camadas da manta em contato com a folha, e em menor proporção na estrutura da base e camada interna da manta do feltro;
- Cinzas ou cargas: são materiais inorgânicos encontrados no feltro e determinados no laboratório pela queima a alta temperatura. Os materiais inertes encontrados são: dióxido de titânio, caulim, areia, solúveis em ácido de alumínio, carbonatos, talco e outros complexos metálicos de água dura;
- Extraíveis: estes materiais de entupimento são resinas ou polímeros solúveis em solventes. Os mais comuns são os “pitches” natural ou sintético, ceras, asfalto, látex, tintas, etc. O “pitch” natural é proveniente do processo da digestão da madeira e polpas mecânicas, sendo o restante das máquinas que utilizam aparas como matéria prima;
- Resinas para resistência úmida: são polímeros sintéticos de caráter ácido (melamina e uréia formaldeído) ou neutro (polímeros de diferentes formas), produtos estes utilizados para fornecer resistência úmida em determinados tipos de papéis.
- “Stickies”: são partículas hidrofóbicas oriundas das fibras secundárias (papel reciclado) e “Coated Broke” (papel revestido) e que podem causar a formação de depósitos pegajosos na máquina de papel e vestimentas.

Os sistemas atuais de condicionamento resumem-se basicamente em chuveiros de baixa e alta pressão, chuveiro químico e caixas de sucção. Vide ilustração na Figura 13.14.



- (1) Chuveiro químico;
- (2) Chuveiro de alta pressão;
- (3) Chuveiro de alta vazão;
- (4) Chuveiro de lubrificação;
- (5) Caixa de sucção.

O condicionamento pode ser efetuado através de meios mecânicos e químicos, ou a combinação de ambos.

Figura 13.14 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Considerando a tendência cada vez maior de utilização de fibras recicladas, aumento de cargas e aditivos químicos e o fechamento dos sistemas de água para controle da poluição, é

necessário utilizar todos os recursos existentes para a limpeza e desaguamento dos feltros. Portanto, o condicionamento tem a função de evitar o alojamento dos materiais de entupimento no feltro, deixando os espaços vazios livres destinados à absorção de água no “nip”, mantendo o feltro com relação de umidade antes do “nip”, volume vazio e permeabilidade adequada para a eficiência de prensagem. Isto é conseguido pela limpeza através das forças hidráulicas e químicas fornecida pelos chuveiros, e desaguamento eficaz da água e impurezas contida nos feltros pelas caixas de sucção e sistema de vácuo.

Feltros bem condicionados proporcionam melhor desaguamento e remoção de água da folha, aumentam a eficiência de prensagem, retardam a compactação e as paradas necessárias para limpeza química. A limpeza mecânica é composta de chuveiros de alta e baixa pressão (lubrificação/inundação) e caixas de sucção/sistema de vácuo.

Os chuveiros de alta vazão trabalham com pressões de 3 a 5 kgf/cm², utilizando água como lubrificação e detergentes. Estes chuveiros têm como função fornecer o complemento de água necessária para facilitar a retirada dos materiais de entupimento. São chuveiros estacionários, localizados no lado interno do feltro com leques formando ângulo de 30 ou 60°, dependendo do tipo do bico utilizado. Como há uma tendência atualmente de reduzir-se o consumo de água nos processos de fabricação, estes chuveiros vêm diminuindo gradativamente sua utilização.

Os chuveiros de alta pressão são os meios mais eficientes para manter os feltros limpos e abertos. A necessidade do fechamento dos sistemas de água e o incremento gradativo de utilização de fibras recicladas aumentam as exigências de limpeza dos feltros, sendo primordial num projeto de condicionamento a escolha de um bom chuveiro de alta pressão. Entre as vantagens da utilização dos chuveiros de alta pressão estão: a redução de 50 a 70% no volume d'água fornecido pelos chuveiros (eliminação do chuveiro de alta vazão), mínima energia requerida, permeabilidade e volume vazio dos feltros mantidos por maior período de operação, e menor desgaste dos feltros.

Como os materiais de entupimento estão alojados na sua maior porcentagem nas camadas de manta do feltro em contato com a folha de papel, é lógico admitir que o uso de chuveiros de alta pressão pelo lado externo é mais eficiente. Também em função do aumento da gramatura dos feltros com duas, três ou até quatro lajes, o chuveiro de alta pressão pelo lado interno necessitaria de pressões de 50 kgf/cm² para a limpeza surtir efeito, com grandes riscos de desgaste dos feltros.

Os parâmetros importantes para o dimensionamento de um chuveiro de alta pressão são: distância do bico ao feltro, pressão da água, diâmetro do bico, temperatura da água, ângulo do jato e frequência de oscilação.

As caixas de sucção têm a função de desaguar eficientemente o feltro removendo as impurezas de sua estrutura, ou seja, o feltro deve retornar ao “nip” com conteúdo de umidade e volume vazio adequados para a boa eficiência de prensagem. Os principais fatores que afetam o desaguardamento de um feltro através da caixa de sucção são: tipo de construção do feltro, umidade do feltro antes da caixa de sucção, tempo de permanência e força motriz aplicada na caixa de sucção.

Para estimar corretamente o fluxo específico de ar e tempo de permanência que um feltro requer para o desaguardamento e limpeza eficiente, deve-se conhecer a matéria prima e papel produzidos, estilo e gramatura de feltros e o conceito de prensagem a que os mesmos estão aplicados para a velocidade máxima da máquina.

A limpeza química é o complemento do condicionamento mecânico, sendo necessário para manter o feltro livre dos contaminantes não totalmente removidos pelas forças hidráulicas dos chuveiros e caixas de sucção, podendo ser realizada de forma contínua, descontínua ou em paradas de máquina. A análise da matéria prima utilizada e feltros retornados poderiam definir sobre a necessidade, método e tipo de produto químico para limpeza (ácidos, álcalis e detergentes).

A limpeza alcalina tem boa eficiência em todos os tipos de papéis, principalmente para a remoção de colas de breu, finos e materiais solúveis em álcalis, porém, a combinação com outros produtos deve ser analisada. Os ácidos são muito eficientes em papéis finos com alto conteúdo de cinzas. Já os detergentes, solventes ou uma mistura de ambos são utilizados para a remoção de materiais resinosos encontrados em máquinas que se utilizam solventes de fibras recicladas menos nobres.

13.5. VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA A PRENSAGEM

A experiência prática e as teorias de pressão apresentadas tornam possível especificar um número de fatores que afetam a remoção da água na prensagem úmida. Esses fatores podem ser divididos em dois grupos:

- Aqueles ligados à geometria do “nip” de prensagem e ao “lay-out” da prensa, inclusive revestimento dos rolos e propriedades dos feltros;
- Aqueles que são associados à composição e ao estado físico da folha úmida.

Outra classificação com 10 fatores que influenciam na remoção de água é dividida em três partes:

- Os fatores relacionados ao feltro são três: propriedades do feltro, resistência do feltro à passagem do fluxo de água e umidade do feltro na entrada do “nip” (grau de saturação);
- Os correspondentes três fatores ligados ao papel são: as propriedades do papel, a resistência do papel à passagem do fluxo de água e teor seco na entrada do “nip”;
- Os três fatores ligados à prensa são: tipos de rolos, dureza do revestimento e a pressão linear da prensa;
- O décimo fator representa as forças de drenagem que é o resultado da influência das anteriores.

Existem ainda outras listas mais elaboradas sobre fatores de influência da prensagem e suas interações. Na figura 13.15 é apresentado um trabalho realizado por **Bliesner** com a apresentação de 20 fatores e suas interações.

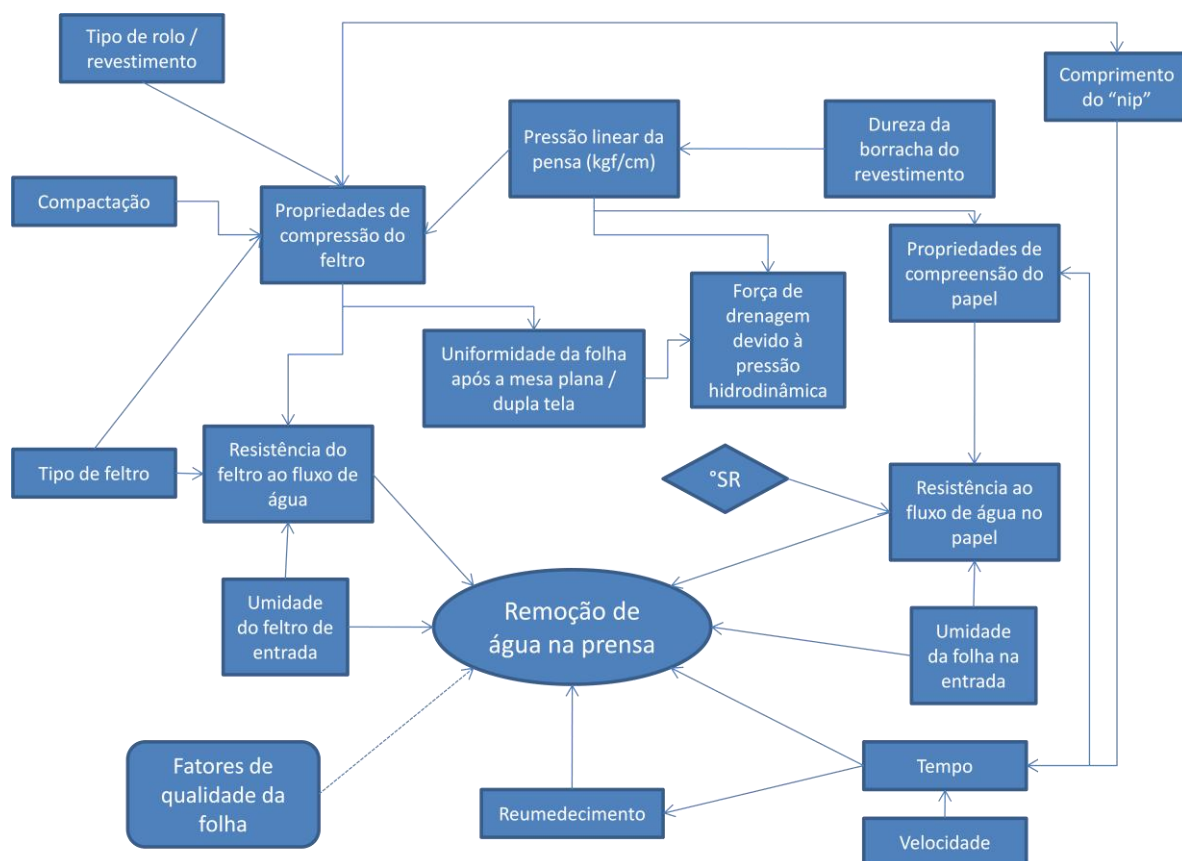


Figura 15.15 (FONTE: Apostila “Curso: prensagem úmida: teoria, tendências e operação” – ABTCP)

14. SECAGEM

14.1. NOÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO VAPOR

Depois da seção de prensas, o excesso de água ainda contido na folha terá que ser removido por evaporação. A seção de secagem ou secaria requer uma grande quantidade de energia térmica, normalmente suprida na forma de vapor, e para que haja esta transferência de energia do vapor para a folha de papel é também necessária uma grande superfície de transferência. Nesta etapa do processo a retirada da água torna-se mais difícil, pois a massa de água que se encontrava na superfície da folha já fora retirada por processo mecânicos, drenagem e prensagem, restando somente a massa de água por entre as fibras do papel.

Esta condição faz da secaria, na grande maioria das vezes, a parte fisicamente maior da máquina e também a maior consumidora de energia de todo o conjunto de produção. Como vimos anteriormente, apenas 1,4% do desaguamento é extraído na secagem, o que pode parecer incoerente quando comparamos as dimensões deste com os outros setores do desaguamento, entretanto, a força de coesão entre as moléculas de água, e destas com as fibras do papel, dificultam extremamente sua retirada, sendo necessário fornecer quantidade de energia para que esta massa de água mude de estado líquido para o gasoso. Como esta energia não pode ser fornecida em grande escala sem causar danos às fibras do papel, necessitamos de uma área de contato entre a folha e a fonte de energia relativamente grande, de modo a proporcionar um acréscimo gradual de temperatura de maneira que a evaporação ocorra sem prejudicar a qualidade do produto. O processo de secagem pode ser subdividido, na verdade, em dois componentes básicos:

- Transferência do calor do vapor para a folha de papel;
- Evaporação da água do papel para o ar ambiente, durante as passagens da folha de um cilindro para o seguinte.

A transferência de calor no primeiro caso se dá por condução e a transferência de massa (vapor d'água da folha para o ar), ocorre por difusão, cujo potencial é definido pelo gradiente de concentração de vapor, ou seja, pela diferença da tensão do vapor da folha e a tensão do vapor da camada de ar adjacente à própria folha. Um sistema de ventilação renova o ar ambiental, prevenindo a saturação do sistema.

É o calor latente (oculto), produto da condensação dos vapores nos cilindros secadores, que realmente fornece o calor para a evaporação da água de uma folha. Observando-se uma tabela das propriedades do vapor saturado (tabela 15.01) nota-se que o calor latente diminui com o aumento da pressão do vapor. Uma vez que o calor latente é o calor útil cedido pelo vapor quando este se condensa a uma determinada pressão, conclui-se que com altas pressões, se obtém menos calor e, daí então, o vapor de alta pressão nos secadores significa um

aumento no consumo de vapor para a secagem. Junto com a economia de vapor existem outras vantagens decorrentes da pressão baixa nos secadores:

- Menor perda por radiação nos secadores;
- Menor perigo de vazamento pelas juntas de vapor nos secadores;
- Melhor qualidade do papel, decorrente da baixa temperatura da superfície do cilindro.

Há duas desvantagens da baixa pressão do vapor, que são:

- Necessidade de maior número de secadores;
- Dimensionamento maior nas linhas de vapor e condensado.

Entretanto, a tabela 14.01 (parte de uma tabela de vapor saturado) também mostra que aumentando a pressão do vapor, a sua temperatura também aumenta. Em consequência disso, a diferença de temperatura entre o vapor e a folha aumenta, acelerando o fluxo de calor para a folha e permitindo assim o uso de velocidades mais altas para a máquina.

1	2	3	4	5	6	7
Pressão Relativa	Pressão Aboluta	Temperatura	Volume Específico	Calor Sensível	Calor Total	Calor Latente
bar	bar	°C	m ³ /kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
4,0	5,0	151,1	0,3816	152,1	655,8	503,7
4,5	5,5	154,7	0,3497	155,9	656,8	501,2
5,0	6,0	158,1	0,3213	159,3	657,8	498,5
5,5	6,5	161,2	0,2987	162,7	658,6	496,1
6,0	7,0	164,2	0,2778	165,6	659,4	493,8
6,5	7,5	167,0	0,2609	168,7	660,1	491,6
7,0	8,0	169,6	0,2448	171,3	660,8	489,5
7,5	8,5	172,1	0,2317	174,0	661,4	487,5
8,0	9,0	174,5	0,2189	176,4	662,0	485,6
8,5	9,5	176,8	0,2085	179,0	662,5	483,7
9	10	179,0	0,1981	181,2	663,-0	481,8
10	11	183,2	0,1808	185,6	663,9	478,3
11	12	187,1	0,1664	189,7	664,7	475,0
12	13	190,7	0,1541	193,5	665,4	471,9
13	14	194,1	0,1435	197,1	666,0	468,9

Tabela 14.01 (FONTE: VPH Sistemas de Fluxo)

O aumento da pressão no secador, portanto, reduz a quantidade de calor disponível para a secagem, mas aumenta a velocidade do fluxo de calor para a folha.

Para que possamos entender melhor o processo de secagem do papel, vamos introduzir alguns conceitos sobre mudanças de fase da água: quando colocamos uma chaleira com água no fogo, inicialmente a água é aquecida até aproximadamente 100 °C, quando então entra em processo de fervura (ponto de ebulição). Enquanto existir água, se medirmos a temperatura, ela se manterá em 100 °C, mesmo que aumentemos a altura da chama, ou seja, fornecendo

mais calor, a temperatura da água não aumenta. Se utilizarmos, porém, uma panela de pressão, ou seja, um recipiente no qual o vapor tenha alguma dificuldade para sair, o ponto de ebulição é alterado. Se medirmos a temperatura da água dentro da panela de pressão, após o início da saída de vapor pela válvula, obteremos, por exemplo, uma temperatura de, aproximadamente, 120 °C, e a pressão interna da mesma em torno de 2 atm. Se pudéssemos olhar dentro dela, veríamos que existe ainda uma fase líquida que permanecerá com temperatura constante (120 °C) até a sua completa evaporação. A pressão interna é regulada pela força necessária para levantar a válvula e dar escape para o vapor. Caso haja um entupimento desta válvula, a temperatura e a pressão poderão subir até, por exemplo, estourar a tampa. Por isso, na panela de pressão existe uma pequena válvula de segurança, que se rompe quando se ultrapassa um valor pré-determinado de pressão. Sendo simplistas, podemos dizer que a caldeira nada mais é do que uma grande panela de pressão, onde atingimos temperatura e pressões elevadíssimas.

O calor fornecido à água para que ela passe da temperatura ambiente para a temperatura de ebulição, dá-se o nome de calor sensível e o calor fornecido para a água do início da ebulição até a sua completa vaporização dá-se o nome de calor latente. Suas equações são as seguintes:

$$\text{Calor latente: } Q_L = m * L$$

$$\text{Calor sensível: } Q_S = m * c * \Delta t$$

Onde:

m: massa total de água (g)

L: calor latente de vaporização (cal/g)

c: calor específico da água (cal/g°C)

Δt = variação de temperatura (°C)

Como vimos nas explanações iniciais, quando atingimos o ponto de ebulição da água, enquanto não evaporarmos toda a fase líquida não haverá alteração da temperatura. Se impusermos uma restrição à saída livre do vapor, haverá um aumento da temperatura e da pressão, sem que ocorra alteração de fase (a transformação total da fase líquida em fase vapor).

Ao vapor gerado enquanto existe uma fase líquida, denominamos vapor saturado e a esta fase líquida denominamos condensado. É bom observar que para cada pressão de vaporização existe apenas uma temperatura de vaporização, ou seja, estes pares são únicos. Caso forneçamos mais energia a este vapor saturado ou submetamos este vapor a uma queda

brusca de pressão (vapor a uma temperatura acima da temperatura de vaporização), dizemos que este vapor é superaquecido.

Na caldeira, inicialmente, vai-se fornecendo calor para a água, sem que seja liberado vapor. A temperatura e a pressão vão aumentando até que se atinja a temperatura e pressão nominal de trabalho, por exemplo, 18 kgf/cm² (206 °C). Atingida esta condição temos três alternativas normalmente: libera-se vapor para a máquina de papel, dá-se escape para a atmosfera do vapor produzido (através de válvula específica ou da de segurança) ou desliga-se a caldeira, pois se continuarmos a fornecer calor e não tivermos liberação de vapor, a pressão subirá tanto que a estrutura da caldeira entrará em colapso.

14.2. TEORIA DA SECAGEM (PARA MULTICILINDROS)

14.2.1. Conteúdo de umidade da folha

O papel, no estado final e durante o processo de fabricação, contém água. A menos que a folha esteja em equilíbrio de umidade com o ambiente, ela terá que perder ou ganhar umidade; isto é, a folha de papel é higroscópica. Este equilíbrio, o qual é característica do tipo de papel, ocorre sob condições normalmente encontradas a um conteúdo de umidade menor que 0,1 kg de água/kg de papel (10%).

A água pode estar presente na folha de papel em diversas formas. Pode estar entre as fibras, sobre a superfície das fibras ou nos vazios entre as malhas das fibras. O aumento do grau de refinação das fibras aumenta a dificuldade de secagem da folha, devido ao fato de que com a refinação rompem-se ligações entre as moléculas de celulose havendo novas ligações destas com as moléculas de água.

14.2.2. Ciclo completo de secagem

Na secagem multicilindros a folha é exposta à aplicação intermitente de calor e taxas variáveis de remoção de vapor. Vamos observar o efeito disto na figura 14.01, examinando um ciclo completo desde a chegada da folha a um cilindro superior até o cilindro inferior seguinte.

A secagem de folhas em cilindros aquecidos subdivide-se em quatro etapas. A primeira tem duração curta e compreende o período quando a folha entra em contato com o cilindro secador sem estar envolvido pelo feltro. Devido à duração curta deste período, quase não há evaporação, ocorrendo apenas aquecimento. Na segunda etapa, a folha está entre a superfície quente do secador e o feltro; nesta etapa há um rápido aquecimento e o processo de

vaporização se inicia. A folha se aquece, estabelecendo uma diferença de temperatura entre seus dois lados.

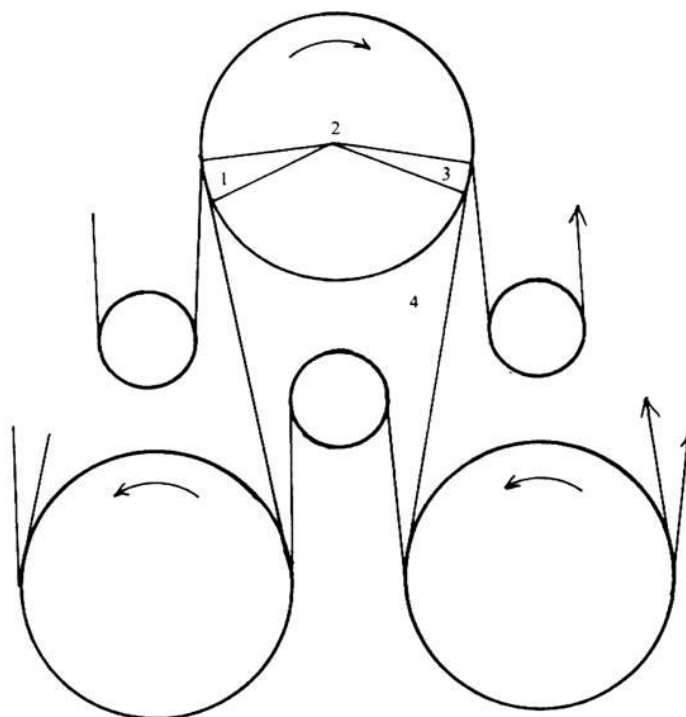


Figura 14.01 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

A transmissão de calor no início se faz por meio de condução. A água que está próxima à região em contato com a superfície aquecida começa a se vaporizar, ocorrendo a migração de vapor em direção ao outro lado da folha. Este vapor, quando alcança regiões mais frias, tende a se condensar, aquecendo esta região com o calor liberado. O espaço próximo à superfície do secador é ocupado pela água em fase líquida, que se desloca para lá por capilaridade.

O fenômeno é contínuo, a folha como um todo se aquece e a pressão de vapor em sua superfície aumenta. Como há um fluxo contínuo de calor, a zona de condensação vai-se afastando em direção ao feltro e, em um determinado nível de temperatura na folha, o vapor produzido se condensa no feltro ou, no caso de tecido de malha aberta, passa diretamente ao ar. Dependendo da quantidade de umidade existente no papel, a água líquida pode não chegar mais à superfície do secador, ocorrendo, então, elevação da temperatura nesta região e a zona de vaporização começam, também, a se deslocar para o outro lado. Esta é a etapa mais longa do ciclo.

Na terceira etapa, o feltro deixa de envolver a folha e o vapor é liberado das superfícies recém expostas. A temperatura sofre uma queda e a velocidade de evaporação diminui. Na

última etapa, a folha se destaca da superfície do secador e libera mais vapor da superfície recém exposta. Isto causa um rápido resfriamento e decréscimo brusco da evaporação. A quantidade de vapor produzido nesta região está em função das condições do ar em movimento, especialmente nos bolsões formados entre os cilindros, a folha e o feltro.

A distância média entre as curvas superior e inferior da figura 14.02 é o que comumente se chama de taxa constante de secagem. É óbvio que a taxa constante de secagem verdadeira não existe em máquinas de papel multicilindros ou com cilindro “Yankee”, mas é sobreposta uma condição cíclica na curva simples de secagem. Na parte superior desta variação cíclica estão as variações locais nas condições do ar e nas diferenças associadas com os secadores superiores versus inferiores. Deve ser observado também, que a qualquer instante dois lados da folha são submetidos a condições muito diferentes e que estas condições mudam contínua e rapidamente.

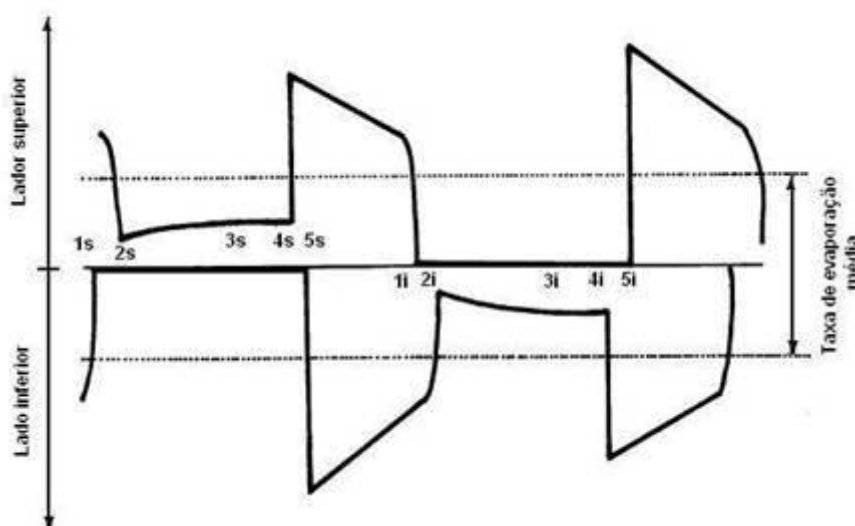


Figura 14.02 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

14.2.3. Deslocamento da umidade dentro da folha

Muitos fatores afetam a taxa de deslocamento da umidade na folha. Os fatores que fazem com que as forças motoras movam a umidade na folha são:

- Temperatura do secador, da folha, da tela e do ar;
- A taxa de evaporação; a pressão na folha devido à tensão da tela;
- O gradiente de umidade na folha;
- O conteúdo de umidade da folha e do ar, etc.

Outras características tais como espessura da folha, estrutura, densidade, tipo e características das fibras, colas, cargas e outros aditivos opõem resistência ao fluxo de

umidade da folha. Em adição a secagem multicilindros, por exemplo, impõe uma reversão muito rápida no deslocamento de umidade, por exemplo, impõe uma reversão muito rápida no deslocamento de umidade.

Os fatores que afetam a secagem das folhas são as seguintes:

- Gramatura da folha;
- Velocidade da máquina;
- Natureza da folha e sua umidade na entrada da secaria;
- Conteúdo de carga: quanto mais alto, mais rapidamente seca a folha porque a carga não absorve água;
- Grau de refinação da polpa;
- Tipo de polpa utilizada e tipo de papel a ser fabricado;
- Umidade final prevista;
- Projeto da máquina de papel;
- Quantidade e dimensão dos secadores;
- Espaçamento entre os cilindros secadores;
- Presença ou ausência de telas secadoras;
- Grau e tensão das telas secadoras;
- Pressão e temperatura do vapor usado nos secadores;
- Utilização de ar aquecido, de alta velocidade nos espaços livres entre cilindros secadores;
- Controle de pressão diferencial;
- Retirada constante do condensado e dos gases inertes;
- Limpeza das telas secadoras;
- Limpeza das superfícies internas e externas dos cilindros secadores;
- Presença de um sistema de ventilação ou retirada de vapores liberados na secaria;
- Presença de coifas (abertas ou fechadas);

14.3. PROCESSOS DE SECAGEM

14.3.1. Secagem multicilindros

O processo de remoção de água da folha na seção de secagem é feito segundo uma função que depende da superfície efetiva de secagem e da massa de água evaporada. Neste

processo, se define perfeitamente o espaço da seção de secagem (figura 14.03) no qual ocorre o aquecimento da folha úmida e onde começa a evaporação.

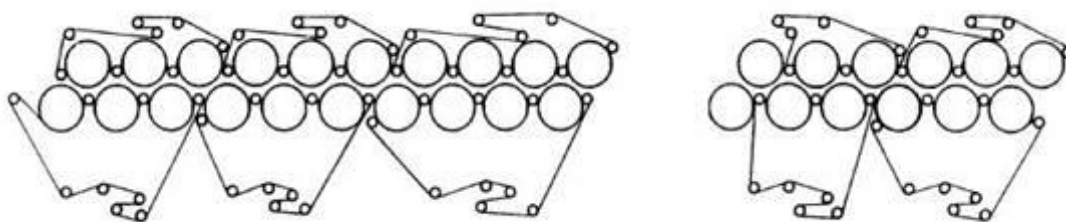


Figura 14.03 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

O gráfico da figura 14.04 nos permite visualizar o comportamento da folha no setor de secagem, onde temos as curvas de evaporação específica e teor seco ao longo da área de secagem, considerada como sendo a área de contato entre a folha e os cilindros secadores.

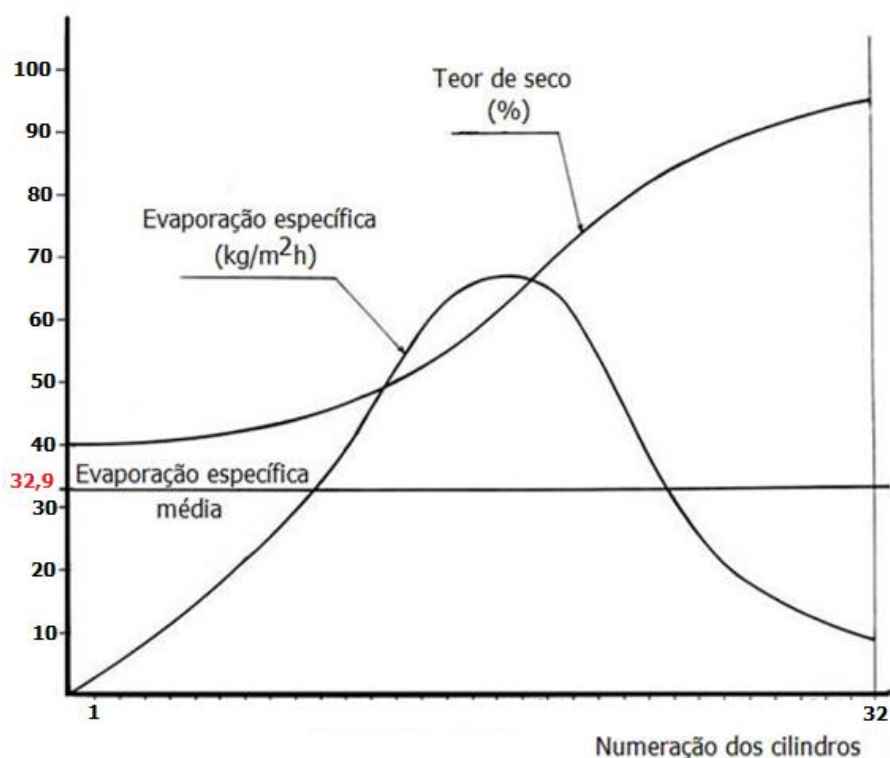


Figura 14.04 (Fonte: apostila Sistema de vapor e condensado – Voith)

Como podemos constatar no gráfico, os primeiros cilindros pouco evaporam, pois a massa que hora entra nesta região consome grande parte da energia para elevar sua temperatura, de maneira que apenas a massa de água superficial, que restou dos processos anteriores, atinge a temperatura de mudança de fase. A folha entra na secção secadora a uma temperatura mais baixa que aquela necessária para a evaporação e a fase inicial da secagem será então para elevar a massa envolvida até uma temperatura de evaporação. Esta tarefa fica

normalmente a cargo dos primeiros cilindros (normalmente, de 1 a 4), cuja temperatura é mantida razoavelmente baixa (em torno de 70 a 80 °C), inclusive para prevenir aderência e destacamento de fibras. Esta primeira etapa é normalmente definida como de aquecimento.

A maior evaporação específica está situada no centro da área de secagem, como podemos ver no gráfico entre 30 e 70% da área total de secagem, pois a massa de água atingiu a temperatura de mudança de fase e toda a energia fornecida pelo sistema é utilizada para este fim. Tão logo a folha de papel esteja aquecida, a temperatura dos cilindros é aumentada rapidamente, podendo chegar ao redor dos 180 °C para alguns papéis menos sensíveis. Ainda assim, a temperatura da folha não irá além da temperatura de evaporação, pois este efeito a esfria, não permitindo que iguale a temperatura do secador. Esta área é definida como zona de temperatura constante ou zona de evaporação constante, pois a água da folha para evaporação se faz facilmente disponível.

A área seguinte é definida como zona de taxa de secagem decrescente. Nesta zona não há mais água livre. Alguns dos grandes poros já estarão vazios e a área efetiva para a transferência de massa é reduzida e continuará reduzindo-se. Os 30% restantes da área de secagem pouco evaporam, pois, nesta região estamos próximos ao limite do processo, onde para pequenos acréscimos no teor seco necessitamos elevado dispêndio de energia, pois a dificuldade de extrair a água fica ainda maior, uma vez que, o que resta de líquido está bem no centro do aglomerado que compõe a folha.

14.3.1.1. Transferência de calor

A energia necessária para a evaporação da água contida na folha é fornecida pelo vapor que se condensa no interior dos cilindros secadores, liberando-a para o sistema. A condensação ocorre à temperatura de saturação do vapor, exceto em raros casos, onde a condensação em gotas ocorre diretamente na superfície interna do cilindro, o vapor se condensa em forma de película ou camada de condensado. Entretanto, nem toda a energia liberada pelo vapor chega até a folha de papel, pois o fluxo de calor deve passar por camadas de materiais de diferentes condutividades térmicas.

Vimos que a condutividade térmica é uma propriedade intrínseca de cada material e quanto maior a condutividade térmica, maior o fluxo de calor pelo material, entretanto, quanto maior a espessura do material, menor o fluxo de calor.

Na figura 14.06 é mostrado o fluxo de energia pelas diferentes camadas que compõem o sistema. A camisa de ferro fundido do cilindro oferece resistência à transmissão de calor e sua espessura está vinculada à resistência mecânica do equipamento, que é um vaso de pressão, e

como tal, submetido a rígidas normas de segurança. Entretanto, os metais apresentam boa condutividade e, apesar de espesso, o rendimento da transmissão de calor não sofre grande redução neste estágio.

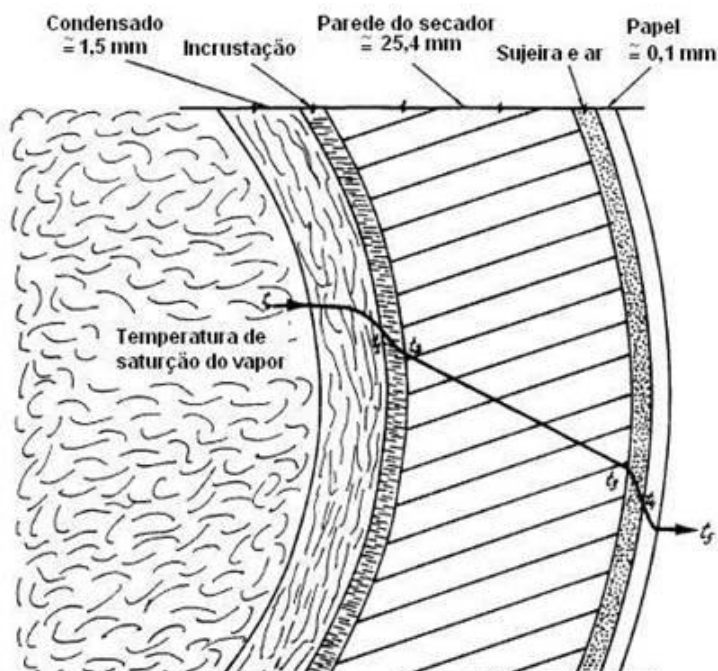


Figura 14.05 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

O ponto mais crítico, portanto, no fluxo de energia é a película de condensado que se forma no interior do cilindro pela condensação do vapor. Para melhor ilustrar este problema, basta que comparemos os valores dos coeficientes de condutividade do condensado e do ferro fundido, respectivamente, 0,67 W/mK e 59 W/mK, a grosso modo, podemos dizer que o condensado apresenta uma resistência a condução cerca de noventa vezes maior que o ferro fundido, ou seja, para cada milímetro de película de condensado que permitimos que se forma no interior do cilindro, é como se a camisa do cilindro aumentasse em 90 mm sua espessura. Por isso, o controle da espessura da lâmina de condensado se constitui num fator importantíssimo de rendimento térmico do sistema. O controle da espessura da lâmina de condensado é feito pelo ajuste da distância da sapata do sifão à camisa do cilindro. Na tabela 14.02 aparecem as resistências individuais relacionadas a cada camada e as respectivas considerações feitas.

Resistências individuais	Considerações
O filme de condensado dentro do cilindro secador.	A resistência é baixa quando o cilindro está empossado, e é alta quando forma filme contínuo.
Depósitos de incrustações e ferrugem na superfície interna do cilindro secador.	Pode ser significativa.
Parede metálica do cilindro secador.	Geralmente é baixa, exceto no caso de parede

	espessa.
Depósito de incrustações e sujeiras na superfície externa do cilindro secador.	Representam uma fração elevada da resistência global.
A camada de ar existente entre a superfície externa do cilindro e a folha.	
A folha de papel.	Depende do tipo, gramatura e umidade da folha.
O filme de ar existente entre a folha e a tela secadora.	É considerável, e depende da composição e estrutura da folha e da tensão da tela secadora.
A tela secadora.	É dependente da composição, estrutura, gramatura e umidade da tela secadora.

Tabela 14.02 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

Com o filme de condensado bastante reduzido e com o crescente aumento da velocidade das máquinas, nos deparamos com a influência do coeficiente de película que, como já foi visto, elucida que a transmissão de calor é proporcional ao grau de agitação do líquido de maneira que se a velocidade for muito alta há uma tendência das infinitas lâminas de condensado apresentarem velocidades relativas entre si muito baixas, de modo que a eficiência térmica diminui sensivelmente.

É importante acrescentar que o calor é transferido de alguma fonte, tal como vapor para a folha, a fim de prover a energia necessária para evaporação. Como em outros fenômenos de fluxo (eletricidade, por exemplo), uma força motora ou potencia aplicada através de uma resistência, causa um fluxo. Neste caso, o potencial é a diferença de temperatura e o fluxo é o calor.

No processo de transferência de calor para a água na folha para causar a evaporação, o calor é também transferido ou perdido para a região circundante. A grandeza desta perda determina a eficiência da utilização do vapor. Obviamente, é desejável manter esta perda em um valor mínimo. Existem três meios básicos pelos quais podem ocorrer a transferência de calor: condução, convecção e radiação. A condução, que é o meio primário na secagem com cilindros, é a transferência de calor entre um corpo ou entre corpos em um contato direto quando não ocorrem movimentos significativos entre qualquer dos corpos. Ele é caracterizado por um gradiente de temperatura em cada corpo através do qual o calor flui.

14.3.1.2. Transferência de massa

Ventilação dos bolsões

A figura 14.06 mostra um bolsão formado entre os elementos de secagem. Todos os elementos móveis carregam consigo uma camada de ar. As partículas de ar que estão em contato com as superfícies móveis passam à mesma velocidade da superfície, e outras, na medida em que dela se afastam, decrescem a sua velocidade.

Superfícies menos lisas, como a do feltro ou tela secadora, levam camadas mais espessas de ar, enquanto a superfície do cilindro secador arrasta menor quantidade de ar. A linha pontilhada indica as camadas de ar e as suas direções. Os pontos D e E assinalam fluxo divergente de ar com desenvolvimento de zonas de pressão negativa. Nos pontos F e C há fluxo convergente e a formação de uma zona de pressão positiva.

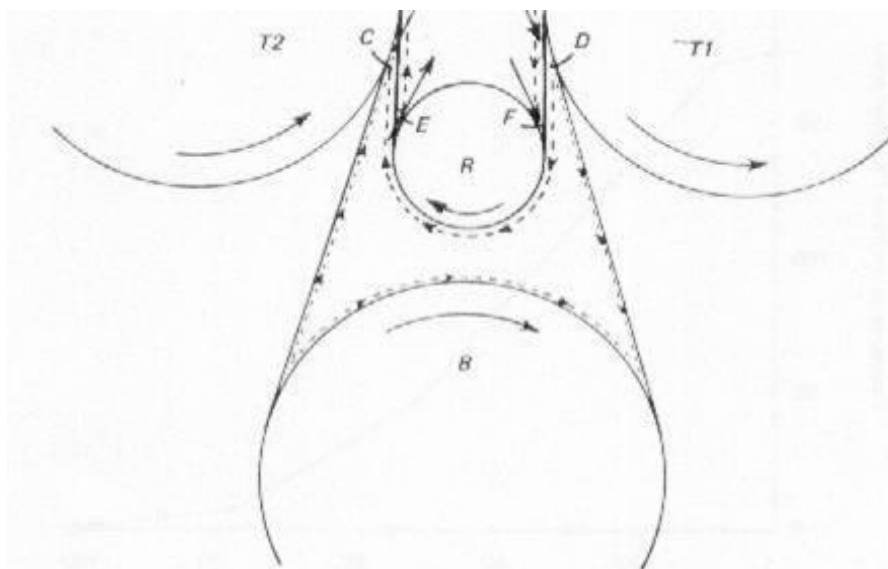


Figura 14.06 (Fonte: Tecnologia de fabricação de papel – SENAI / IPT)

Antes da introdução das telas secadoras, quando a seção de secagem é “vestida” com o feltro convencional, pesado e impermeável, as diferenças de pressão não são suficientemente grandes para induzir a passagem de ar através do feltro. Portanto, o ar confinado dentro do bolsão, em contato com superfícies úmidas, tende a atingir a saturação. Este ar saturado é continuamente levado para o ponto C, que, comprovado experimentalmente, é a região mais úmida do bolsão. A ventilação nos bolsões existentes entre os elementos de secagem era precária formando zonas de ar saturado de vapor de água, o que inibia a evaporação da umidade do papel.

Se na região de secagem usam-se tecidos de permeabilidade elevada, as diferenças de pressão, geradas pela movimentação dos componentes, são suficientemente grandes para fazer o ar atravessar a folha de papel e o tecido. Portanto, há maior ventilação e menor possibilidade de saturação do ar circundante.

A velocidade de remoção de água nas condições descritas é relativamente constante ao longo da secagem. Pode-se notar a baixa taxa de remoção de água no início e no fim do

processo; o primeiro fenômeno explica-se com o período de aquecimento da folha, e o último, com a dificuldade crescente da água em se deslocar dentro da folha.

Para se conseguir a evaporação era necessário substituir o ar estagnado por outro mais quente e mais seco. Para isso, introduziram-se sistemas de ventilação de bolsões como o sistema de tubos que insuflam ar quente dentro dos bolsões, sistemas de rolos-guia de feltros que também insuflavam ar quente e o sistema Grevin que consiste em insufladores de ar colocados alternativamente nas partes frontais e traseiras da seção de secagem.

O sistema mais adequado no caso de telas secadoras é o sistema de barras de ventilação colocadas no lado externo dos bolsões (figura 14.08). O dispositivo insufla ar seco através da tela secadora, rompendo a cortina de ar úmido que acompanha os elementos móveis. O jato de ar quente é dirigido contra as paredes daqueles rolos situados na entrada das zonas de pressão, induzido pelo movimento dos elementos, retirando o ar saturado. A colocação das barras de ventilação visa dois objetivos: manter a tela uniformemente seca e quente, e promover ventilação nos bolsões, o que ajuda a controlar e corrigir o perfil transversal de umidade do papel.

As telas secadoras não são necessárias para as folhas suficientemente fortes para manterem-se suficientemente presas aos cilindros. O ciclo de secagem para tais secadores sem tela seria seriam uma só fase contínua, e a evaporação da superfície exposta não seria restringida pela presença da tela. Em adição, é possível melhorar a evaporação utilizando equipamentos auxiliares de aquecimento e/ou ventilação.

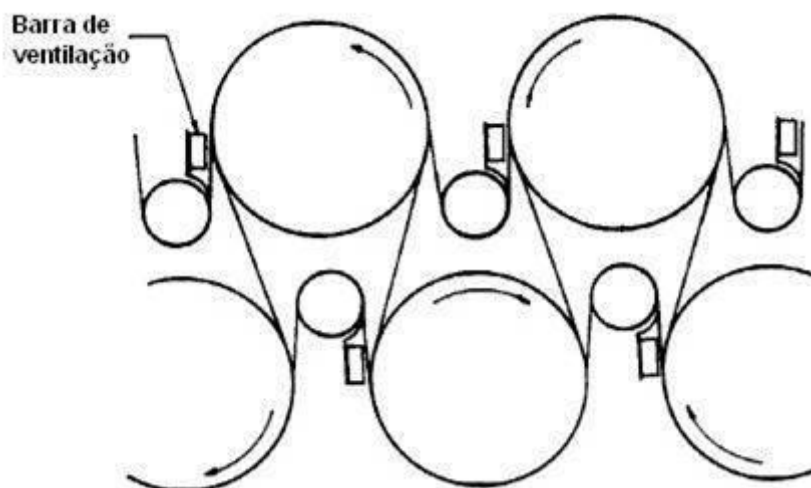


Figura 14.08 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

Quando os cilindros não têm telas por algum outro motivo, mas a folha não é suficientemente forte para envolver-se firmemente sobre o cilindro, tal como em alguns

cilindros inferiores na bateria da parte úmida de máquinas de papel jornal, o mesmo ciclo pode ser constatado, mas em taxas grandemente reduzidas, devido à película muito grossa de ar-vapor entre a folha e a superfície do cilindro.

Coifas

Quando o papel está úmido, grande parte dos capilares contém água em fase líquida, e há pouca resistência para a sua migração às regiões próximas à superfície aquecida do secador, onde deve-se ocupar o espaço deixado pelo líquido vaporizado. Se a região da superfície do secador continuar saturada, a velocidade de evaporação será mantida constante. Mas, quando a umidade atingir um determinado grau em que a água no estado líquido estiver confinada apenas nos capilares mais finos; é necessária energia adicional para vencer a maior tensão superficial.

Na secagem da folha, esta transferência é feita pela circulação de grandes volumes de ar, tanto no conjunto da máquina, quanto no prédio. A importância da ventilação está envolvida em primeiro lugar, a eficiência da operação de secagem, e em outros níveis de importância, evitar a condensação do evaporado nas superfícies metálicas, que possam vir a provocar corrosão, gotas d'água sobre a folha, além da evaporação de calor e a prevenção da hidrólise dos polímeros que compõem os tecidos das telas secadoras.

A parte de secagem das máquinas modernas está envolvida por uma coifa que controla o ar saturado de vapor de água. Conhecem-se dois sistemas de coifa: aberto e fechado. O sistema aberto consiste numa capota que cobre a máquina até a altura do eixo dos cilindros secadores superiores. Os painéis das capotas são feitos de alumínio apoiados numa estrutura de aço. Há nessas coifas sistemas de dutos para exaustão e ventilação. O fluxo de ar pode ser automaticamente regulado pela medição da umidade do ar exaurido.

No sistema fechado, a coifa cobre totalmente a máquina, inclusive o pavimento inferior, onde se abrigam os equipamentos auxiliares, que acondicionam a tela secadora. O ar que circula dentro da coifa pode ser controlado automaticamente, quanto à umidade, temperatura, taxa de recirculação e renovação. Para a renovação retira-se uma pequena quantidade de ar do ambiente, insuflando-a nos dispositivos de ventilação dos bolsões, para a secagem de telas e para formar cortinas de ar na parte inferior da coifa. Algumas vantagens do sistema fechado são: redução do consumo de vapor, redução dos volumes de ar envolvidos nas operações de alimentação e exaustão (pois, o confinamento de ar na capota o conserva mais quente e seco), maior uniformidade do perfil transversal de umidade da folha, melhoria da eficiência da

máquina de papel e melhoria das condições de trabalho. Na figura 14.09 aparece uma coifa fechada para o controle de ventilação na secagem.

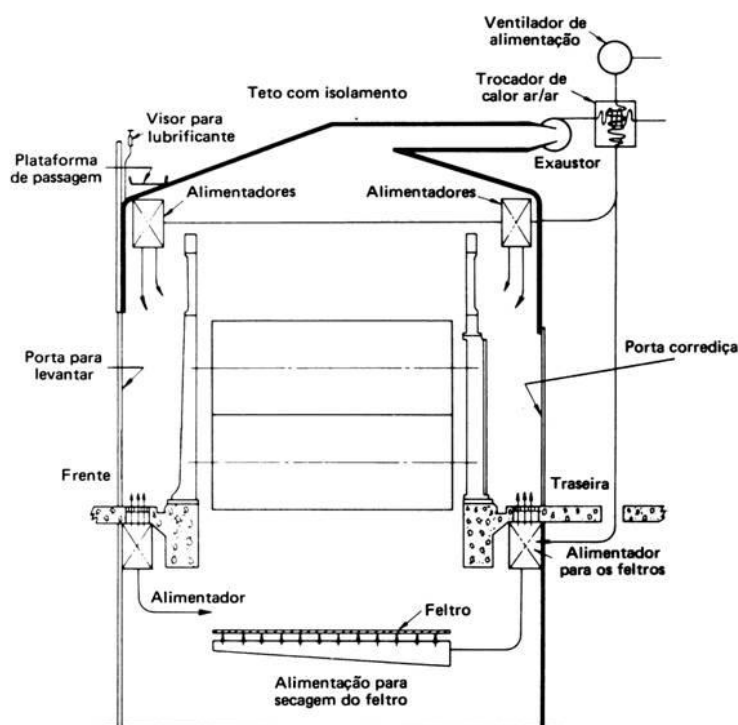


Figura 14.09 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

14.3.1.3. Telas secadoras: características e condicionamento

Histórico das telas secadoras

Desde a invenção dos cilindros secadores, a grande preocupação dos papeleiros tem sido melhorar a eficiência de secagem. Primeiramente, foi testada a fibra de lã, mas por ser uma fibra natural, seu custo era muito elevado. Daí pensou-se num substituto, aparecendo assim o algodão, do qual foi feito um feltro secador de várias lajes, para aumentar sua durabilidade.

Por outro lado, a técnica de secagem continuava melhorando, novas máquinas apareceram, mais altas temperaturas de operação foram introduzidas e, portanto, o desenvolvimento dos feltros devia acompanhar aquela evolução.

Um novo conceito apareceu no ano de 1.920, com a aplicação de fibras de asbestos para resistir às mais altas temperaturas. Algumas outras fibras foram testadas entre os anos 1.920 e 1.940, por exemplo: linho, mas sem resultados positivos, ficando no final o algodão, lã e asbestos, como os melhores.

Mas, no ano de 1.949, apareceram algumas fibras sintéticas como o Dracon, atual poliéster ou “terylene” e “nylon” (poliamida). Também a técnica de agulhamento no ano de

1.950 deu aos fabricantes de vestimentas de máquinas de papel uma nova possibilidade de melhorar o desempenho dos feltros secadores.

O maior desenvolvimento foi nos anos 1.960 a 1.961, quando foram instaladas as primeiras telas sintéticas na seção de secagem. O resultado foi uma maior eficiência de secagem e trouxe vários pontos favoráveis para a indústria papelreira, dentre as quais máquinas de maior velocidade e novas técnicas de ventilação.

Função da tela secadora

As funções da tela secadora numa seção de secagem poderiam resumir-se nos seguintes pontos:

- Aumentar a eficiência de secagem do papel através da maior tensão de trabalho, melhorando a área de contato entre cilindro e papel, e maior e mais livre passagem de vapor de água (evaporação);
- Suportar e guiar a folha de papel através dos cilindros secadores. Em alguns casos a tela deve acionar alguns cilindros secadores e, para isto, deve ser suficientemente resistente;
- Deve ser composta de filamentos resistentes à hidrólise (degradação da estrutura do filamento);
- Melhorar o acabamento do papel através de estilos mais sofisticados como a tela mais plana que, além de melhorar a área de contato, tem uma superfície mais suave;
- Melhorar o perfil de umidade da folha de papel, fato explicado acima e provado na prática com alguns estilos;
- Não deve marcar a folha de papel;
- Deve possuir uma permeabilidade e uma topografia adequada à posição de onde irá trabalhar na máquina de papel;
- Deve possuir estabilidade dimensional de maneira a controlar ou diminuir o encolhimento para cerca de 1%, no caso das telas secadoras que trabalham com altas temperaturas (9 kgf/cm² de pressão de vapor), podendo ser ainda menor com baixas temperaturas (4 kgf/cm² de pressão de vapor), pelo tipo de tecido ou por termofixação.

Tipos de telas secadoras

Houve muitas modificações nos projetos de telas secadoras nos últimos anos. O material sintético, tal como o poliéster, dominam o mercado quase que completamente.

Diferentes construções foram desenvolvidas em função das variadas exigências dos papeleiros. Os quatro principais tipos de fios utilizados são:

- Monofilamento
- Multifilamento revestido com teflon
- Multifilamentos
- Fios fiados tratados

A estrutura básica para a maioria das telas usadas atualmente é a de duas lajes (figura 14.10B). Todavia, uma tela robusta de laje simples (figura 14.10A) está fazendo avanço em muitos tipos de aplicação.

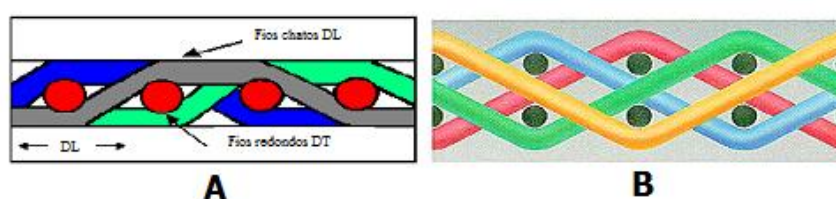


Figura 14.10 (FONTE: Apostila - Básico de Fabricação de Papel – ABTCP)

A maior parte das telas produzidas no Brasil é de duas lajes. A permeabilidade varia entre 75 e 750 CFM. Um fio fiado é inserido no centro das telas no sentido transversal, para alterar a permeabilidade. Quanto maior este fio, menor a permeabilidade. A área de contato desta construção é de 10 % aproximadamente.

Limpeza de telas Secadoras

A limpeza das telas secadora é o segundo item mais importante no desempenho deste tipo de vestimentas. A permeabilidade e a limpeza andam de mãos dadas, ou seja, se a tela está suja, a permeabilidade é reduzida, o mesmo acontecendo com sua eficiência.

As telas podem estar parcial, irregular ou totalmente entupidas pela sujeira. O único modo de corrigir é limpar a tela. Alguns problemas encontrados em telas sujas são:

- Perda da produção de 5% a 10 % em máquinas limitadas pela secagem;
- Um perfil com maior umidade no centro;
- Aumento do consumo de vapor;
- Faixas úmidas no papel;
- Umidade desuniforme, causando problemas na calandra e enroladeira;
- Formação de bolhas e fichas no papel em posição de monotela;
- Papel desclassificado por soltura de impurezas que se encontravam aglomerados sobre a tela.

Sujeiras e “pitches” que aderem sobre os monofilamentos fazem com que a tela tenha uma aparência desagradável. Em laboratório uma tela pode ser limpa, de modo a ter de volta praticamente a sua permeabilidade original. Na máquina, a limpeza não alcançará tal grau, mas será bastante eficaz.

Existem vários métodos para se limpar telas:

- Escova;
- Chuveiro na largura total;
- Chuveiro de alta pressão / leque na largura total;
- Chuveiro de água / ar de bico único;
- Chuveiro de vapor.

Atualmente, todos os métodos mencionados são utilizados em diversas partes do mundo. Deve-se fazer a identificação dos materiais de entupimento da tela e formular um procedimento de limpeza para desalojá-los. O sistema mais usado é o do chuveiro na largura total.

Um dispositivo de alimentação muito simples pode ser empregado numa parada de máquina. O tanque contém uma solução de soda cáustica e detergente para remover os contaminantes. É importante que o chuveiro seja direcionado para o “nip” do rolo. O diâmetro do tubo do chuveiro pode ser de 5 a 7,5 cm, com furos de 0,5 cm, distantes entre si, cerca de 10 cm.

A cada 100 a 150 dias a tela é removida da máquina e é passada através de uma solução de soda mais detergente a uma velocidade muito baixa. Duas escovas limpam então a superfície. Em seguida, é submetida a um chuveiro de alta pressão. Um chuveiro tipo leque enxágua a tela e, em seguida, é seca por um chuveiro de ar. Uma vez enrolada, está pronta para voltar à máquina com, praticamente, a permeabilidade original.

Muitos são os benefícios com a limpeza das telas secadoras. Primeiro, a qualidade de sua folha de papel melhora, com menos listas, redução dos defeitos da folha, e melhoria do perfil da folha. Em segundo lugar, a própria tela secadora terá menos desgaste para um maior tempo de uso e menos entupimento mantendo assim a permeabilidade da tela. Outro benefício é a seção de secagem como um todo, onde haverá um desempenho mais consistente desta seção, melhorando a transferência de calor, melhorando os bolsões de ventilação, e reduzindo o uso de vapor e custo de energia.

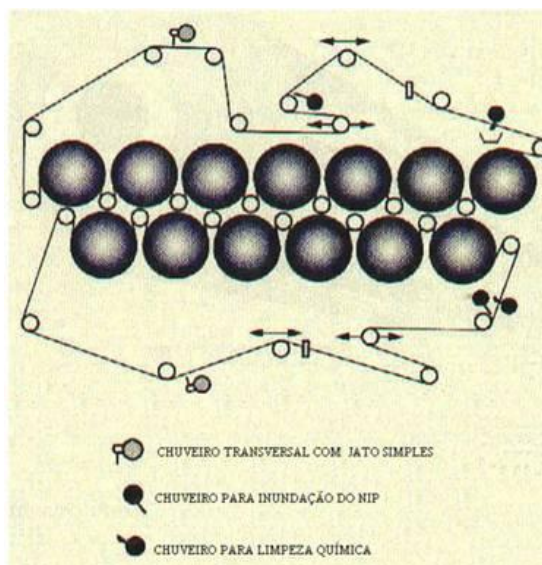


Figura 14.11 (FONTE: Apostila “Básico de fabricação de papel”)

Podem-se evitar paradas desnecessárias. E melhor de tudo, um sistema efetivo de limpeza das telas secadoras rapidamente pagará pelo seu custo. A figura 14.11 ilustra possíveis localizações para chuveiros de limpeza.

14.3.1.4. Sistemas de vapor e condensado

Introdução

A energia necessária para a evaporação da água contida na folha é fornecida pelo vapor, que quando libera energia no interior do secador se condensa. Os sifões constituem um ponto de extrema sensibilidade no sistema de vapor e condensado, e de grande importância na eficiência do desaguamento dos cilindros secadores. A formação do lago de condensado (configuração) depende da rotação (velocidade angular) do cilindro. Situações típicas do lago de condensado, desde baixas velocidades até o extremo da película formada em alta velocidade são demonstradas na figura 14.12.

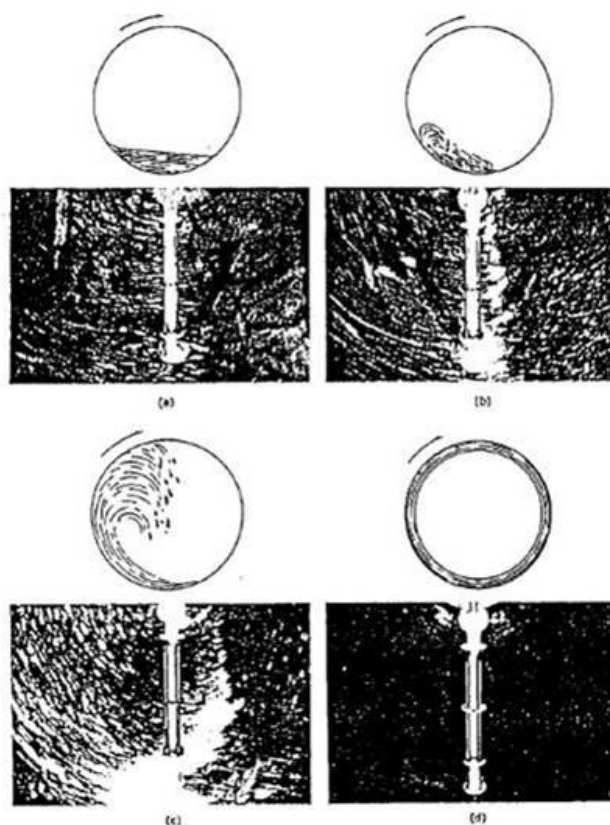


Figura 14.12 (FONTE: Apostila “O processo de produção de papéis” – ABTCP/UFV)

Existem basicamente dois tipos de sifões empregados atualmente, o rotativo e o estacionário. Ambos os sifões operam pelo mesmo princípio físico, um diferencial de pressão é estabelecido entre a entrada e a saída do cilindro, de modo a criar um fluxo e arrastar o condensado pelo sifão. Para isto, é necessário um fluxo de vapor adicional ao vapor que deverá condensar-se para fornecer a energia necessária. Esta quantidade de vapor adicional é denominado de “vapor de arraste” ou “vapor de passagem”.

Se não existisse o vapor de arraste, teríamos a formação de uma coluna de condensado no interior do sifão, com o conseqüente aumento do diferencial de pressão requerido para drenagem. Além das perdas impostas pelo sistema teríamos que vencer uma pressão adicional da coluna de condensado. No caso dos sifões rotativos, a situação seria muito mais crítica, pois a aceleração da gravidade deve ser considerada. Portanto, este vapor de arraste evita a formação da coluna de condensado, pois o fluxo estabelecido no interior do sifão arrasta o condensado, originando uma mescla de baixo peso específico, diminuindo a influência da aceleração da gravidade e da força centrífuga.

A definição do tipo de sifão envolve a análise de variáveis as quais indicamos na tabela de comparações da tabela 14.03.

Quadro Comparativo	Estacionário	Rotativo
Diferencial de Pressão	Menor	Maior (depende da velocidade)
Ajuste da Sapata	Pouco preciso	Preciso
Pressão de Vapor da Linha Principal	Menor	Maior
Cuidados Operacionais	Menor	Maior
Dificuldade em Obter Cascata	Menor	Maior
Quantidade de Vapor de Arraste	Menor	Maior
Marcação da Posição do Sifão	Sim	Não
Controle da Película	Instável	Estável
Esvaziamento quando cheio	Simple	Difícil

Tabela 14.03 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A diferença entre os dois tipos de sifões está na fixação dos mesmos nos cilindros secadores (Figura 14.13). O sifão rotativo é fixado à camisa do cilindro por um sistema de pernas espaçadas a 120 graus, que garante a estabilidade do conjunto e mantém constante a distância entre a sapata e a camisa do cilindro. Observar que esta distância estabelece a espessura da película de condensado que se formará no interior do cilindro.

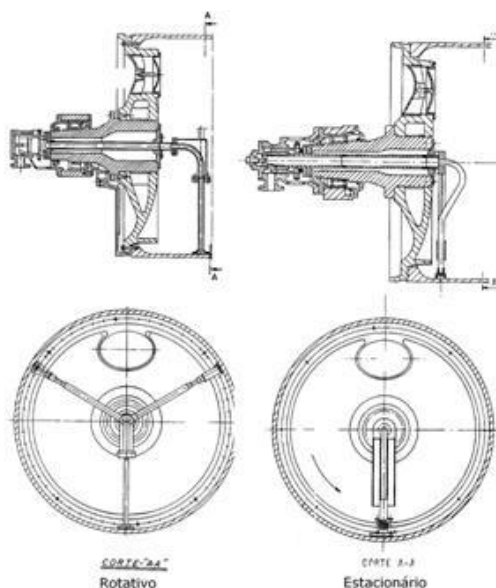


Figura 14.13 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O sifão estacionário é fixado à carcaça da união rotativa e fica em balanço na parte interior do cilindro. Este tipo de construção requer um sifão mais reforçado, pois o mesmo está sujeito a dilatações e esforços da película de condensado que podem desajustá-lo durante a operação.

Barras de turbulência

São barras chatas colocadas contra a superfície interna dos cilindros secadores, com distâncias reguladas, suportadas por anéis metálicos providos de molas que as mantêm firmemente encostadas (figura 14.14).

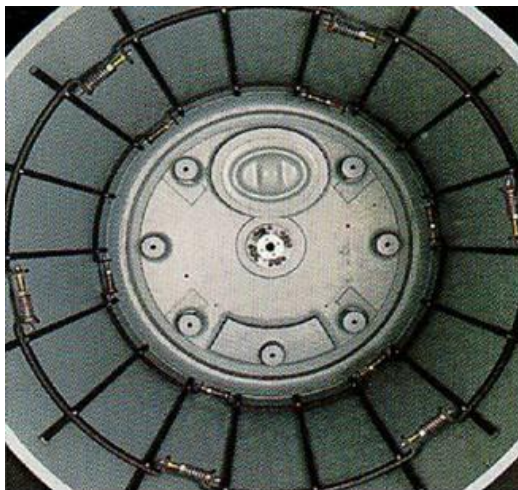


Figura 14.14 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

Estas barras são conhecidas também como “Spoiler Bars” (Beloit/GL&V) ou “termoanéis” (Voith). O objetivo destas barras é quebrar o filme de condensado, possibilitando economia de vapor ou aumento de produção na faixa de 10 a 15%.

Tipos de sistemas de vapor e condensado

Basicamente existem dois tipos de sistemas de vapor e condensado, o sistema cascata e o termocompressor.

Sistema cascata

O sistema cascata é composto por grupos de cilindros que operam a pressões diferentes, sendo que o grupo de maior pressão deságua em um separador de condensado e o vapor de arraste obtido no separador é reaproveitado no grupo imediatamente anterior, de pressão inferior e assim sucessivamente, até o grupo que trabalha com a menor pressão do sistema.

Este tipo de sistema gera uma interdependência entre os grupos de vapor em função do diferencial para drenagem, ou seja, a pressão máxima do grupo anterior é a pressão do grupo posterior menos o diferencial para drenagem deste grupo. Para uma melhor ilustração, a Figura 14.15 apresenta um esquema básico do sistema tipo cascata.

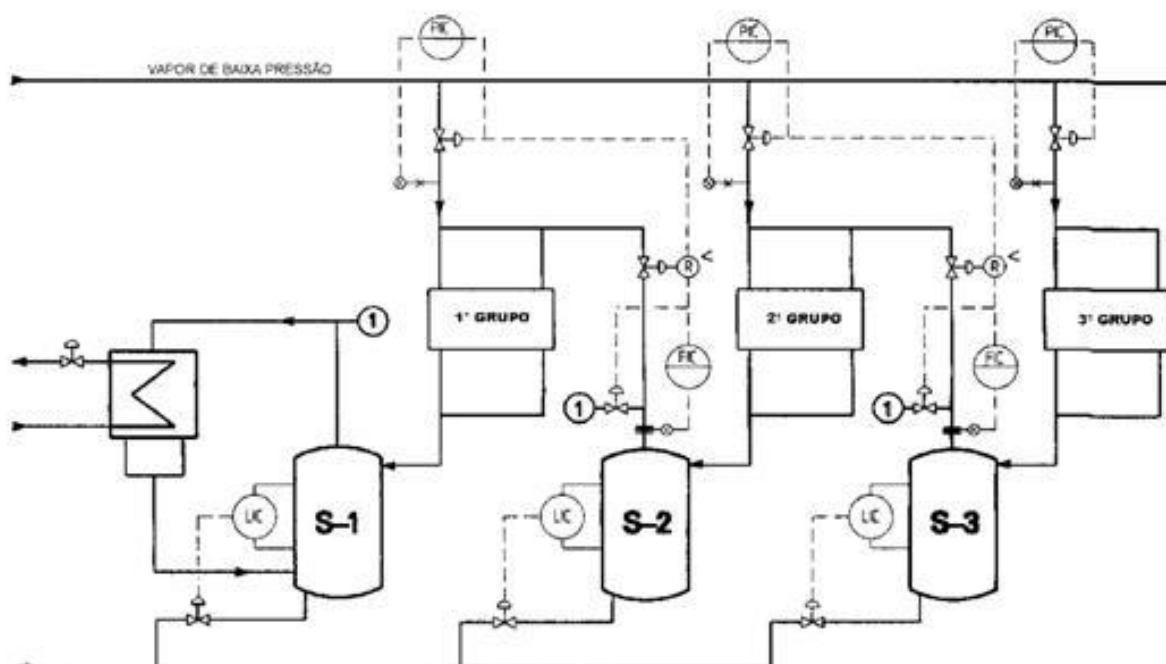


Figura 14.15 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Sistema termocompressor

O condensado que é extraído do secador, normalmente, ainda contém muita energia. Uma das maneiras de reaproveitá-la é captar este condensado em um separador (onde a pressão é inferior ao do secador) e o vapor “flash” que é produzido, repressurizá-lo. O termocompressor faz a combinação deste vapor “flash” com vapor de alta energia, e obtém vapor na pressão de operação, gerando considerável economia de energia.

O sistema termocompressor é composto por subsistemas independentes, onde o vapor de arraste obtido no separador é reaproveitado no próprio grupo por meio do termocompressor. A função do termocompressor é aumentar a pressão do vapor de arraste, já utilizado no grupo de cilindros, por intermédio de vapor de alta pressão (vapor motriz). O princípio de funcionamento do termocompressor se baseia no “Venturi”, onde o vapor de arraste é succionado por uma zona de baixa pressão gerada pela injeção do vapor motriz no termocompressor. No difusor do termocompressor, a energia cinética fornecida pelo vapor motriz é convertida em pressão até alcançar o ponto necessário para entrar novamente ao sistema (vapor de descarga). A Figura 14.16 apresenta um corte esquemático de um termocompressor:

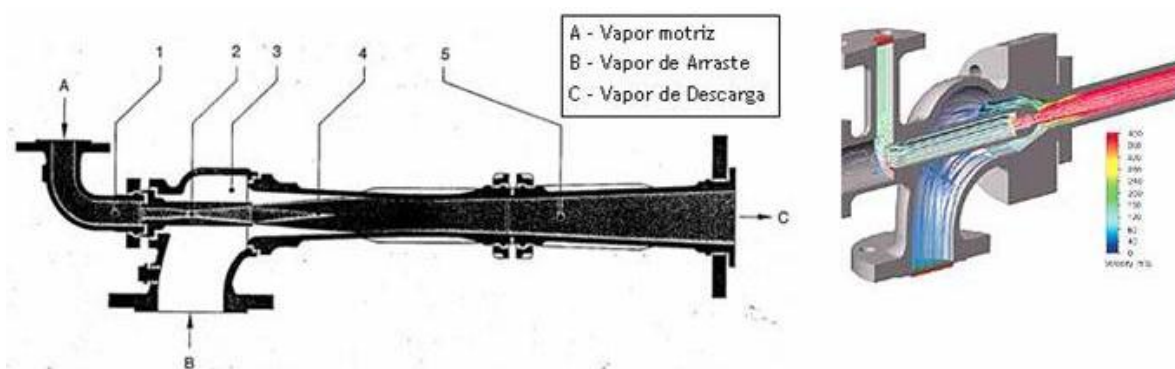


Figura 14.16 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Com o sistema termo-compressor, os grupos de cilindros podem operar com qualquer pressão, dentro dos limites de projeto, sem que haja a interdependência do diferencial para drenagem entre os mesmos. Para uma melhor ilustração, a figura 14.17 apresenta um esquema básico do sistema tipo termo-compressor.

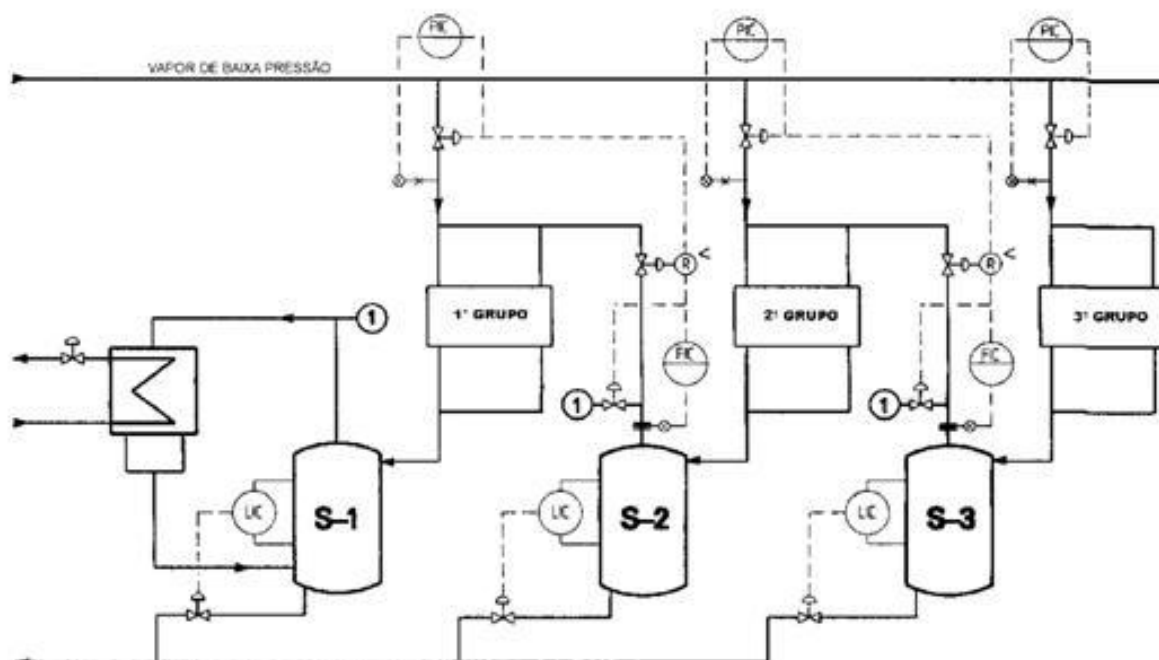


Figura 14.17 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

14.3.2. Sistema “Single Tier”

Este sistema é uma tendência para máquinas de alta velocidade. Ao invés de duas fileiras de secadores (superior e inferior), é utilizado um rolo com vácuo na parte inferior. Na figura 14.18 aparece os dois conceitos de secagem, um mais antigo (“double tier”) e um mais moderno (“single tier”).

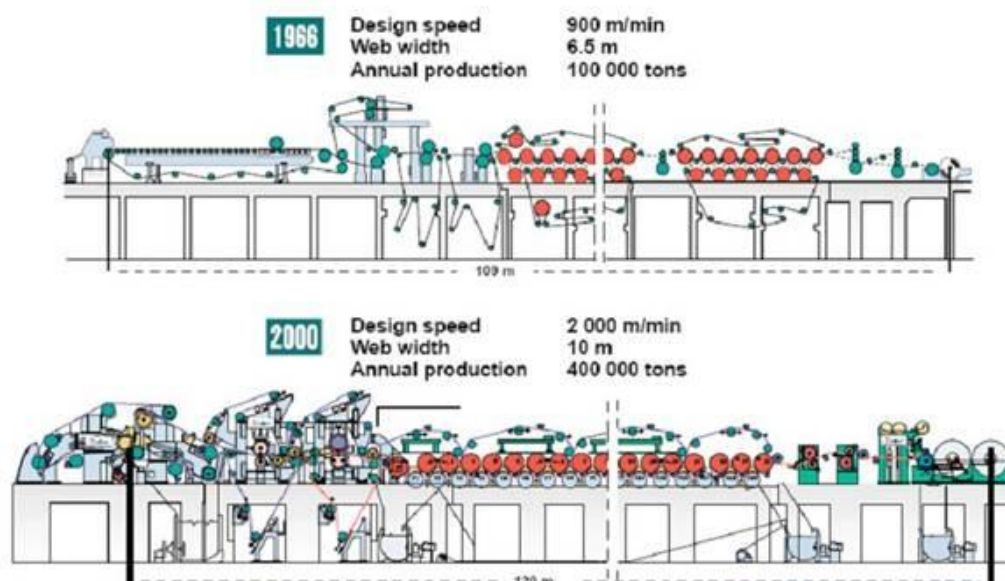


Figura 14.18

14.3.3. Secagem com cilindros “Yankee”

Nas máquinas “tissue” (figura 14.19) e para fabricação de papéis monolúcidos, normalmente tem-se apenas um cilindro secador, o qual é denominado secador “Yankee”. Estes secadores têm, normalmente, um diâmetro variando de 3,5 a 5,5 m, sendo responsável por 45 % a 65 % da secagem. Trabalha com pressões de 6 kgf/cm² (158 °C) a 8 kgf/cm² (170 °C) de vapor saturado, sendo considerados vasos de pressão. Em alguns casos se utilizam pressões maiores ou iguais a 10 kgf/cm².

Normalmente são fundidos, podendo ter ou não sua superfície metalizada com aço inox, ligas de cromo-molibdênio e outras ligas de dureza elevada, visando minimizar o desgaste superficial.

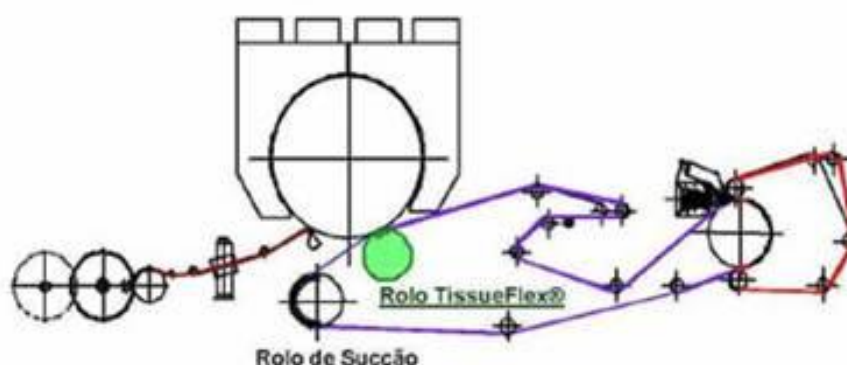


Figura 14.19 (Apresentação Voith / ABTCP)

O processo de secagem normalmente é composto por duas partes: o cilindro crepador e a capota de insuflamento de ar quente e exaustão de ar úmido. O cilindro crepador (figura

17.18) participa na secagem em porcentagem que podem variar de 40 a até 90 % dependendo do tipo de capota utilizada assim como outros fatores como velocidade, gramatura etc. Construtivamente, o cilindro crepador possui diâmetros de até 6 m e opera a velocidades que podem superar 2.200 m/min, atualmente.

O material da camisa do cilindro crepador, normalmente, é de ferro fundido, sendo que alguns fabricantes desenvolveram uma liga apropriada que não afeta o coeficiente de transmissão, possuindo uma maior resistência ao desgaste provocado pela ação do raspador. Atualmente podemos contar com cilindros crepadores com a parte interna da camisa diferenciada.

A camisa do secador pode possuir a parte interna lisa ou ranhurada e a espessura da camisa está entorno de 40 mm mais a ranhura, quando existir. Recomenda-se utilizar a camisa interna lisa para máquinas de baixas velocidades (inferior a 60 rpm) e para máquinas acima desta velocidade, camisas ranhuradas (figura 15.23) com o sistema apropriado de coleta de condensado.



Figura 15.23 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

A principal função da capota sobre o cilindro “Yankee” é a evaporação da água da folha e a exaustão do vapor d’água liberado no processo de secagem. Até poucos anos, as capotas contribuíam com aproximadamente 45% da secagem e o “Yankee” com os outros 55%. Com o aumento das velocidades das máquinas e devido às restrições mecânicas no aumento dos diâmetros dos secadores, a participação das capotas na secagem pode atingir até 60%, podendo operar com temperatura de ar insuflado de até 510 °C e velocidades de até 160 m/s.

Normalmente, devem ser construídos em aços especiais para suportar a alta temperatura. Segue abaixo (figura 14.20) um fluxograma como exemplo de um sistema de secagem da capota.

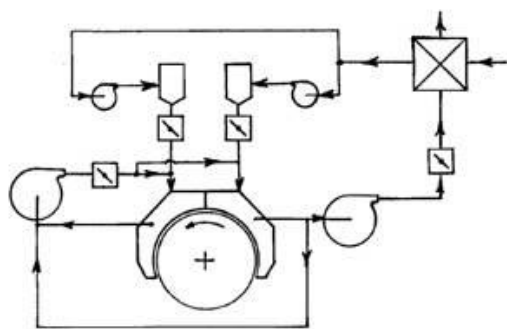


Figura 14.20 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

A distância entre a capota e o secador “Yankee”, na qual se observa uma maior eficiência está na faixa de 18 e 20 mm. Esta distância deve ser calibrada em todos os quadrantes da capota, principalmente, após retificar-se o “Yankee”. Outros fatores de influência, além da velocidade, são a temperatura e a umidade do ar insuflado.

Com o aumento da temperatura, aumenta também a transferência de calor para a folha. Devido ao aumento da temperatura da folha, a troca térmica com o cilindro fica mais difícil, não sendo, portanto, linear o aumento de secagem como aumento da temperatura do ar insuflado. Este efeito é pequeno, mas deve ser considerado quando do cálculo do incremento da capacidade de secagem e aumento de velocidade de máquina. Atualmente está se evoluindo muito o controle das capotas, sendo que as atuais possuem divisões e controles transversais para poder corrigir erros no perfil de secagem.

A caldeira normalmente se encontra a alguma distância das máquinas de papel, sendo necessárias, portanto, extensas tubulações, vários equipamentos, válvulas e instrumentos. Saber a finalidade e os princípios básicos de funcionamento destes elementos das linhas de vapor é obrigação de todos que trabalham nas proximidades dos mesmos, pois acidentes nestas áreas podem causar sérios danos pessoais e materiais.

A título de ilustração segue abaixo (figura 14.21) um fluxograma típico do sistema de vapor e extração de condensado utilizado em máquinas “tissue”.

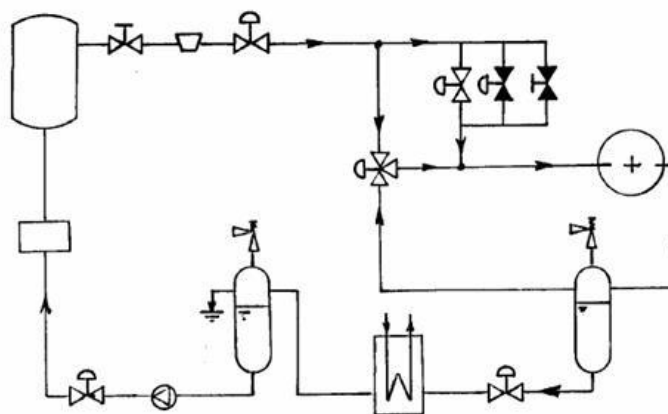


Figura 14.21 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

O sistema de extração de condensado funciona por diferencial de pressão aplicado entre a entrada e saída do cilindro e provocando, através do sifão rotativo, a saída do condensado (figura 14.22). Temos abaixo exemplos de tipos de sifão rotativo para cilindros de camisa ranhurada e camisa lisa. A distância dos tubos extratores de condensado até a camisa é um fator muito importante como referência podemos considerar para cilindro de camisa lisa a distância de aproximadamente 2 mm e para cilindros ranhurados, aproximadamente, entre 6 e 8 mm.

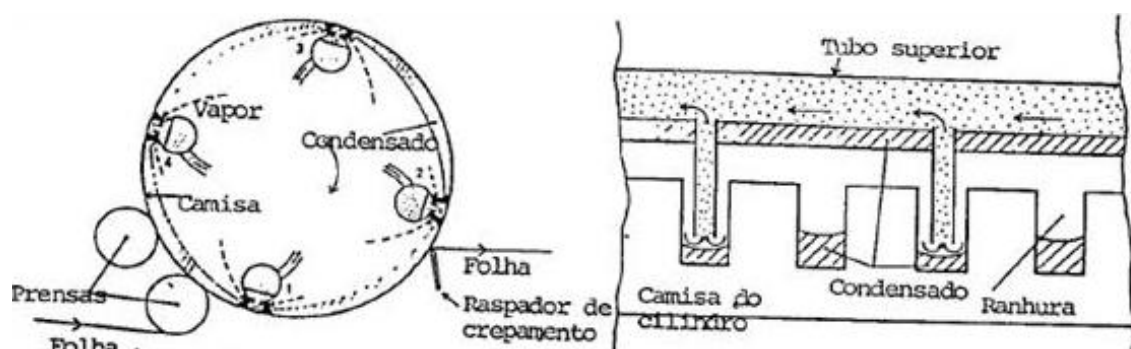


Figura 14.22 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

14.3.4. Secagem com infravermelho (“infrared”)

A secagem por radiação infravermelha de alta frequência (figura 14.23) tem sido empregada até hoje mais como uma complementação da bateria secadora, como corretores transversais de perfil de umidade e em máquinas de revestimento para pré-secagem da tinta após a aplicação.

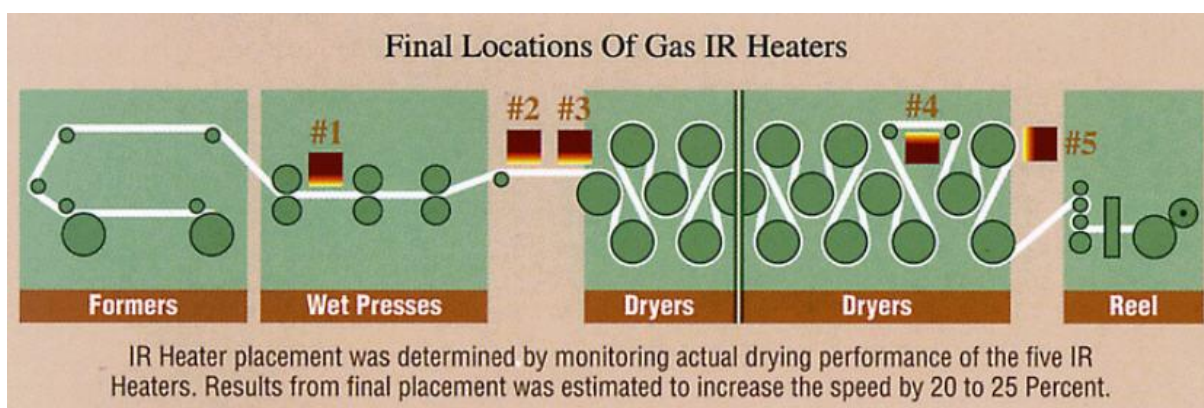


Figura 14.23 (FONTE: www.energysolutionscenter.org)

14.3.5. Máquinas com secagem do tipo TAD (“Through Air Drying”)

Este tipo de máquina vem sendo utilizado principalmente em países de alto poder aquisitivo como os EUA, Canadá e países do Oeste Europeu para o atendimento de um mercado exigente por produtos “tissue” de alta qualidade.

Em máquinas tipo TAD são fabricados os produtos considerados como referência de alta qualidade no mercado. A alta qualidade neste tipo máquina é obtida através da secagem quase que total do papel e em alguns casos total através da passagem de um fluxo de ar quente através da folha de papel (figura 14.24) ao invés do método convencional de secagem por contato utilizado em uma máquina convencional.

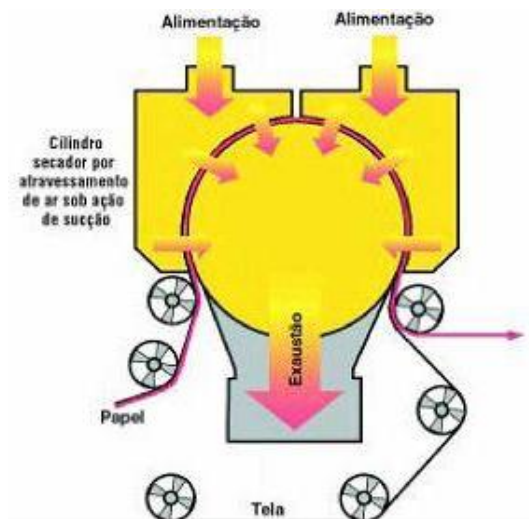


Figura 14.24 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

A secagem por sopro de ar quente proporciona um maior volume livre entre fibras e com isto o papel fabricado neste tipo de máquina tem a característica de um maior “bulk” e de outras características como maior suavidade e melhor absorção e retenção de líquidos (figura 14.25).

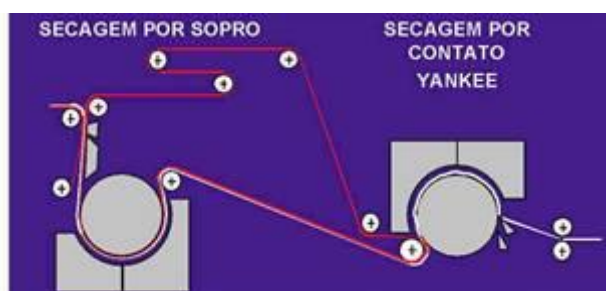


Figura 14.25 (FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”)

14.3.6. Sistema Condebelt®

Tampella, atualmente uma parte da Metso Paper, desenvolveu um conceito de secagem que se distânciava radicalmente da tecnologia convencional. O secador Condebelt® foi apresentado em 1.975, sendo a única realização comercial de secagem por prensagem, objeto de intensa atividade de pesquisa na década de 1.970. No processo Condebelt®, a folha é transportada sobre duas telas, uma fina e uma grossa, entre duas cintas rotativas de aço (figura 14.26).

A cinta superior é aquecida por meio de vapor e a inferior é resfriada mediante água. A pressão do vapor e da água de resfriamento, agindo sobre as respectivas cintas de aço, imprime sobre a folha uma elevada pressão na direção Z. A água procedente do papel evapora e passa através da tela fina, condensando-se na tela grossa ou sobre a cinta de aço fina. Os objetivos iniciais no desenvolvimento desta tecnologia eram: consumo de energia e redução de custos de capital, bem como uma operacionalidade aprimorada da máquina.

Contudo, as propriedades aprimoradas do papel emergiram como a característica dominante da tecnologia. Os índices de secagem obtidos nas unidades comerciais eram de 5 a 10 vezes superiores aos obtidos em seções de secagem por cilindros convencionais.

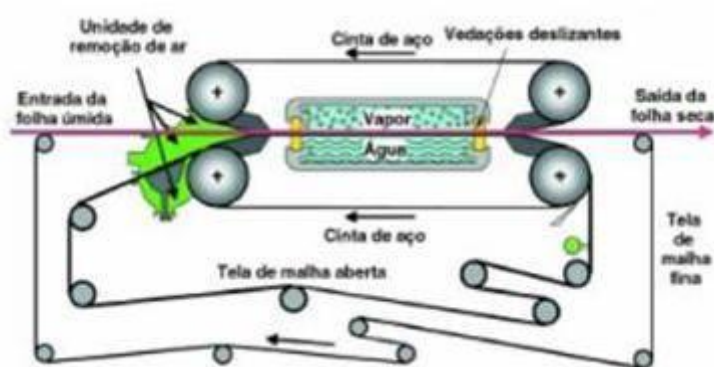


Figura 14.26 (Artigo da revista “O Papel”: Novos desenvolvimentos no campo da secagem)

Além dos sistemas citados acima ainda existem outros tais como secagem por radio frequência e por micro ondas, por exemplo. Atualmente, há uma tendência de desenvolver sistemas como o OptiDry Twin KUVa da Metso (figura 14.27).



Figura 14.27 (FONTE: www.metso.com)

15. COLAGEM SUPERFICIAL

A colagem, na indústria de papel é o procedimento que, com o auxílio de aditivos químicos, fornece-se às fibras e/ou ao papel formado, a resistência necessária para evitar ou reduzir a umectação ou a penetração de líquidos (água, tinta, etc.) e seus vapores.

A colagem poder ser efetuada por:

- Colagem interna ou na massa, quando o agente colante é adicionado antes da formação da folha;
- Colagem superficial, quando o produto é aplicado na superfície da folha já praticamente pronta.

A colagem superficial a aplicação de produtos químicos tais como amidos, colas de dextrina, parafina, álcool polivinílico etc. é feita sobre a superfície do papel já formado e parcialmente seco. Após esta aplicação, com a prensagem (“size press”) da folha a temperaturas adequadas, obtém-se um revestimento que proporciona uma redução nos diâmetros dos poros (espaço entre as fibras) preenchendo estes espaços na folha, dificultando assim a penetração de líquidos, gases ou vapores por esses poros.

A colagem superficial, além de aumentar a resistência à umidade, confere maior lisura à folha, diminui o desprendimento de pó e melhora o acabamento do papel, que não escurecerá com o tempo. A colagem superficial é aplicada à folha de papel ou papelão quando ela possui umidade entre 4 e 12%, motivo pelo qual o equipamento é colocado entre grupos de secadores. Os equipamentos utilizados para a colagem superficial são: “size-press”, “gate-roll coater”, “speed sizer” e “film press”, apresentados na figura 15.01, abaixo.

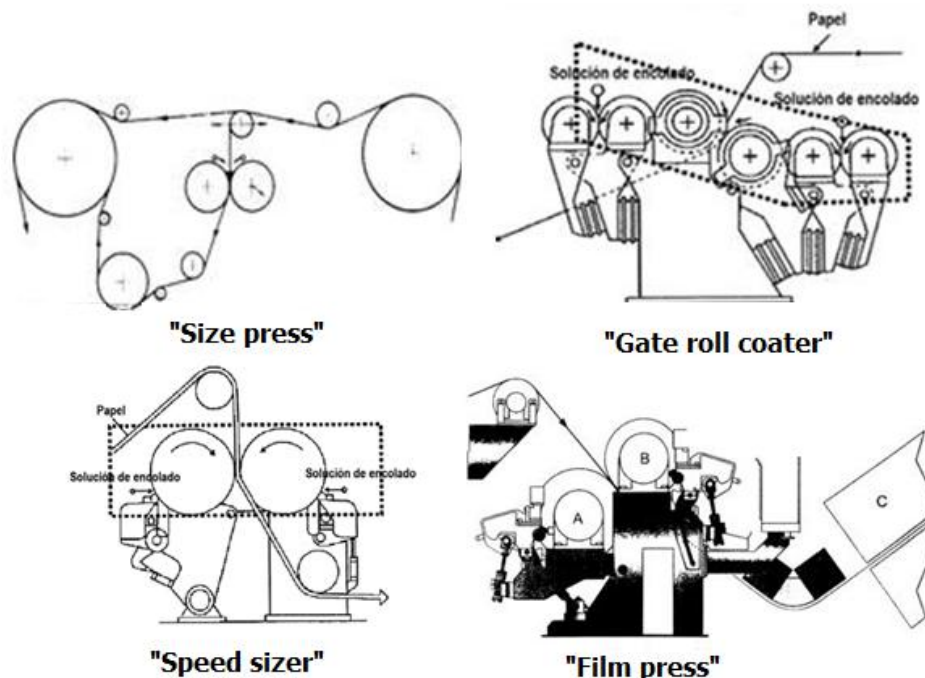


Figura 15.01 (FONTE: <http://ihobe.es> / SENAI CETCEP)

15.1.1. Noções sobre revestimento de papéis

Reveste-se o papel e o cartão para melhorar a qualidade de impressão e o impacto visual, assim como para melhorar as propriedades estéticas (brilho, alvura, lisura etc.). A

irregularidade em um papel sem revestimento são cerca de seis vezes maiores que em um papel com revestimento. A aplicação de revestimento fornece um papel com menor rugosidade, porosidade e menor variabilidade de região a região do papel. Por exemplo: o tamanho de partícula do caulim é 1/10 do diâmetro de uma fibra, enquanto as partículas de látex e dióxido de titânio são 1/15 deste diâmetro.

O revestimento também fornece uma estrutura mais receptiva à tinta (pigmentos como o CaCO_3 são mais oleofílicos que as fibras de celulose). O papel revestido possui poros menores, em torno de 1/10 do tamanho do poro do papel não revestido, e são mais numerosos.

A estrutura de microporos permite ao papel receber a tinta rapidamente e uniformemente e limita a migração de tinta lateralmente e verticalmente (evitando perda de detalhes de impressão, perda de brilho, intensidade da imagem e aparência de marmorização). O papel revestido também necessita menos tinta para imprimir uma determinada imagem que o papel não revestido.

A quantidade de revestimento aplicado depende principalmente da qualidade do papel base, e das características requeridas (brilho, alvura etc). O range de aplicação é em torno de 6 a 13 g/m^2 . Uma boa cobertura é um pré-requisito para atingir uma boa aparência e boa printabilidade em papéis revestidos.

A figura 15.02 mostra a superfície de um papel sem revestimento e um papel com revestimento.

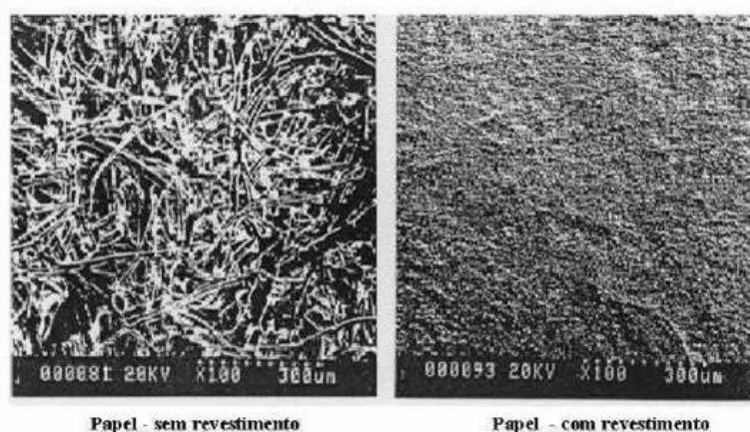


Figura 15.02 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Os principais materiais utilizados nas formulações de base aquosa são: pigmentos (caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio, talco, sílica), ligantes (látex, amido, proteína), aditivos e água. Após a separação da fase aquosa por drenagem através da folha e evaporação, uma estrutura é formada. Chamamos a isto de estrutura de revestimento.

15.1.1.1. Equipamentos para revestimento (“off machine”)

No processo de revestimento aplica-se no papel base uma camada formada por pigmentos, ligantes e substâncias auxiliares para o qual a cor, o processo, os parâmetros de regulação da máquina de revestimento (figura 15.03) e o papel base têm que adaptar-se com precisão. O número de grupos de alicação de uma máquina de revestimento com a secagem correspondente varia segundo tratar-se de um revestimento simples, duplo ou triplo, utilizando-se os distintos sistemas de aplicação de forma pregressiva, segundo suas vantagens específicas correspondentes.

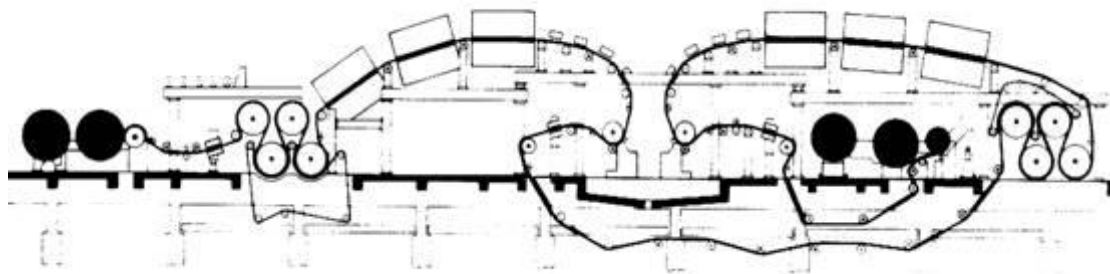


Figura 15.03 (FONTE: Papiermacher Taschenbuch)

16. CALANDRAGEM

Trata-se de um equipamento da máquina de papel, que é constituído por um conjunto de rolos metálicos, montados uns sobre os outros num cavalete que os sustenta. Consta também, com um dispositivo que permite controlar a pressão de encosto entre os rolos, de forma independente para o lado do acionamento (LA) e o lado do comando (LC), além do centro, através do dispositivo de abaulamento.

Com relação a sua localização na máquina de papel, ela é dependente do tipo de calandra com que determinada máquina de papel é equipada, já que existem vários tipos de calandra. De modo geral, o rolo inferior é chamado “Rolo-Rei” (“King-Roll”), sendo o de maior diâmetro e o elemento acionador do conjunto, além de contar com abaulamento fixo ou ajustável. O rolo, imediatamente acima do “Rolo-Rei”, é o “Rolo-Rainha” e, o superior é o “Rolo-Copa”, os demais são rolos intermediários.

A função da calandra é basicamente intensificar as características de lisura e brilho do papel que será fabricado. Estes efeitos são conseguidos reorientando-se as fibras superficiais, ou o recobrimento aplicado à superfície do papel, por meio de pressão e fricção entre os rolos de grande dureza e lisura superficial (polidez), com a intenção que a fibra adquira a aparência

de lisura dos rolos da calandra. Grosso modo pode-se dizer que a calandragem do papel tem a mesma função que o ferro elétrico tem sobre as roupas (tecidos). A seguir, mostraremos vários tipos de calandras.

16.1.1. Tipos de calandras

16.1.1.1. Calandra alisadora (prensa “offset”)

Localizada logo após as prensas úmidas e antes do 1º secador, agem sobre a folha úmida (teor seco de 35 a 50%) não tendo a função de retirar água, e sim alisar a folha que acabou de ter contato com telas e feltros, apresentando por isto, superfície áspera.

Esta calandra, normalmente, é constituída por dois rolos sobrepostos, que podem ser de granito, aço ou borracha dura em seus revestimentos.

Este tipo de calandra visa a uniformização da espessura da folha, aumentando a densidade, além de melhorar as ligações entre fibras.

16.1.1.2. Calandra igualadora

Esta calandra situa-se dentro da seção de secagem, num ponto onde a folha se encontra com um teor seco entre 60 a 70%, utilizando-se 2 ou 3 rolos metálicos bem polidos, tendo a função semelhante à calandra alisadora (“prensa offset”).

16.1.1.3. Calandra da máquina

Localiza-se entre a última bateria de secagem e a enroladeira, quando a folha já atingiu seu nível final de umidade, que seria a um teor seco por volta de 92 a 95%, sendo que quanto maior for a umidade, melhor será a calandragem, pelo fato das fibras encontrarem-se num estado mais plástico.

Normalmente, as calandras são constituídas por dois, quatro, seis ou mais rolos, de ferro fundido coquilhado (endurecido), sendo a quantidade de rolos empregados, em função do grau de lisura requerido ou, dificuldade de lisura do papel fabricado por determinado tipo de máquina ou massa (celulose) utilizada.

A calandra normalmente é montada com rolos posicionados de forma sobreposta, sendo que em calandras com mais de dois rolos (figura 16.01), a pressão nos “nips” é aumentada progressivamente.

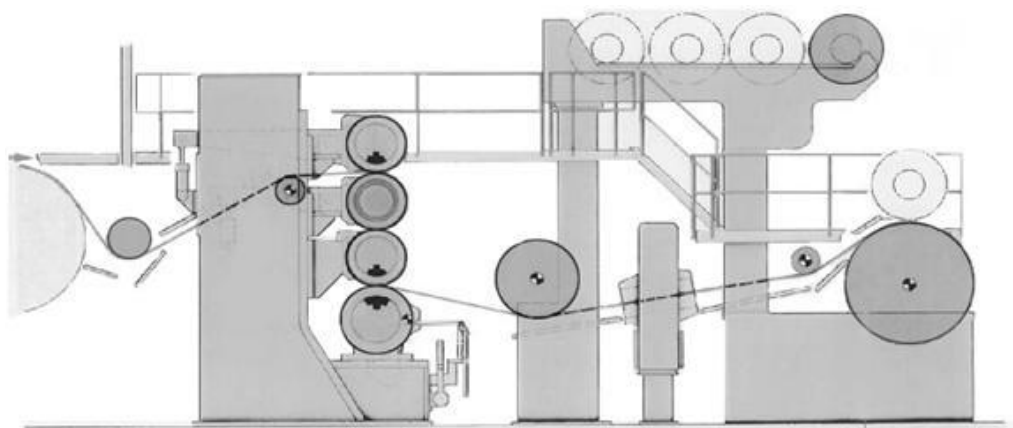


Figura 16.01 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2)

Com relação ao papel calandrado, ele expande na direção longitudinal e transversal, resultando em maior área, principalmente, na transversal. Com relação à calandra, ela é o último meio mecânico da máquina de papel de corrigirem-se uniformemente as propriedades superficiais do papel e cartolina. A figura 16.02 mostra uma calandra com apenas um “nip”, comumente usada.

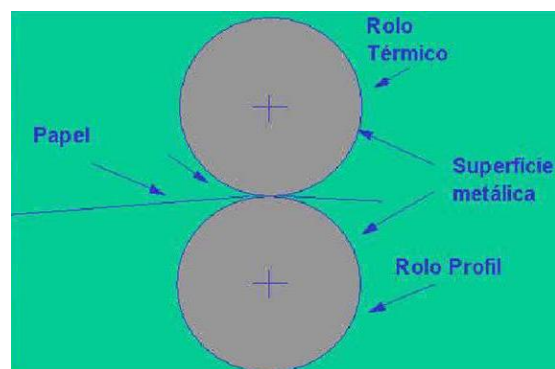
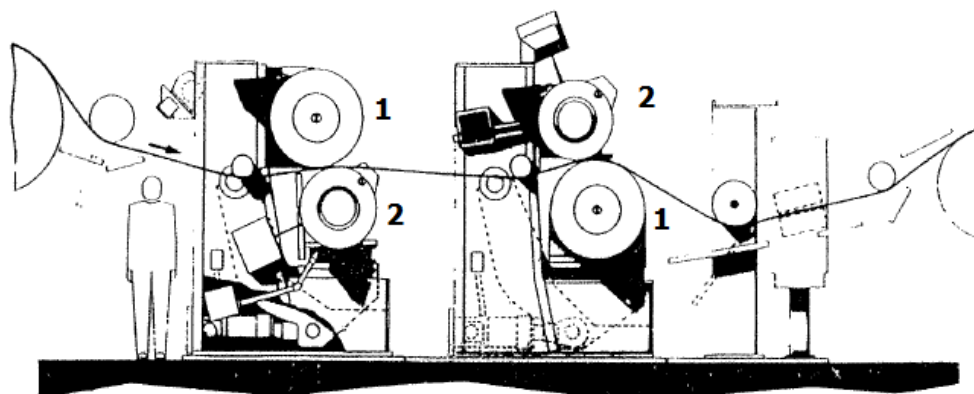


Figura 16.02 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

16.1.1.4. “Soft” Calandra “On Machine”

“Soft” calandra (figura 16.03) ao contrário da calandra de “nip” duro ou de uma calandra de máquina é projetada para o acabamento superficial, e não para corrigí-lo. Proporciona bons valores de lisura, brilho, densidade etc. que são necessários para uma boa impressão e imagem produzida por tinta gráfica.



1: Rolo de ferro coquilhado
2: Rolo "soft"

Figura 16.03 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Geralmente, numa calandra de máquina o “nip” é formado pelo rolo de ferro coquilhado e com um rolo de ferro coquilhado de abaulamento variável. Com rolos numa posição fechada e sob carga externa vinda de cilindros hidráulicos ou foles pneumáticos, o comprimento do “nip” é pequeno devido ao efeito mecânico do contato de rolo de ferro sobre o rolo de ferro. O resultado deste “nip” pequeno “estrito” é uma distribuição de pressão localizada nos pontos altos da folha e conseqüente compressão da folha tornando-a com espessura uniforme. O papel que passou pela calandra terá uma densidade maior e aumento de lisura.

Numa calandra “soft”, o “nip” é formado, ao unir o rolo de ferro coquilhado aquecido com temperatura de 60 à 200 °C, com o rolo de revestimento “soft”, tipo polímeros (poliéster). O rolo soft é projetado com sistema hidráulico de precisão, que ajuda o abaulamento (“swimming”), de acordo com a pressão de trabalho, mantendo o “nip” uniforme. O revestimento “soft” combina boa estabilidade com materiais menos duros. O material menos duro (80 a 96 Shore D), possibilita um efeito do “nip” menos agressivo, devido à maior área de contato ativa criada sob carga (aumenta o tempo de residência da folha no “nip”). O revestimento “soft” deforma-se ligeiramente quando pressionado. Com isto, o papel calandrado recebe uma pressão menos intensa e, conseqüentemente, produz papel com mais “bulk” e acabamento superficial mais uniforme.

No caso de papéis especiais (“couché-L1”), devido ao tempo de residência da folha no “nip” ser maior, também com pressão e temperatura, a calandra molda o revestimento superficial sobre o rolo de aço. Entra-se na calandra, com papel em alta temperatura (aproximadamente, 70 °C), isto facilita o trabalho de calandragem. A unidade hidráulica

proporciona fluxo e pressão de óleo totalmente controlado, para os cilindros de carregamento da calandra através da tubulação hidráulica.

Os cilindros de carregamento proporcionam a força mecânica requerida para elevar o rolo de baixo até a posição fechada (formando o “nip”) e também para aplicar a força necessária à carga de “nip”. As pressões dos cilindros são ajustáveis (individualmente) em caso de correções menores nas bordas da folha quando forem necessárias.

16.1.2. Noções sobre “supercalandras”

Trata-se de um equipamento fora da máquina de papel, podendo-se encontrar supercalandras com três até vinte rolos, os quais são montados verticalmente e alternados entre rolos de metal polido (aço) e rolos revestidos com fibras sintéticas (algodão, lã, etc.).

A função da supercalandra é a de conferir ao papel um grau e acabamento superficial muito superior aos conseguidos com as calandras, sendo que a face do papel que necessita melhor acabamento deve fazer contato com os rolos metálicos.

O uso da supercalandra se faz necessário, sobretudo para papéis revestidos com tinta “couché”, sendo que com o intuito de melhorar o brilho do papel, algumas supercalandras são dotadas de sistemas de vaporização úmida ao papel, antes da entrada no 1º “nip”. Com relação à pressão linear entre os “nips”, ela não deverá ser excessiva, pois, pressões elevadas acarretam perda de alvura e opacidade. A figura 16.04 mostra um exemplo de supercalandra.

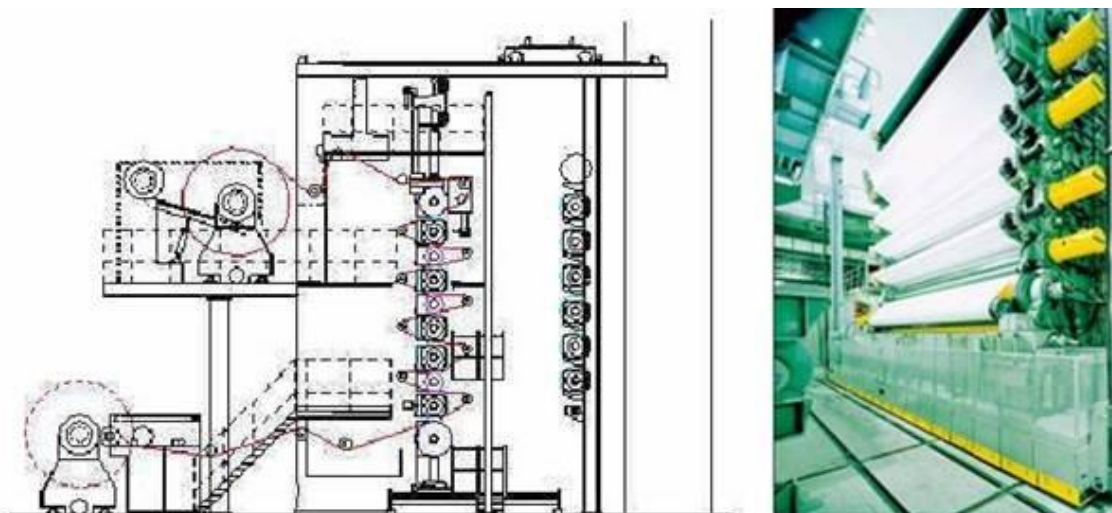


Figura 16.04 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

17. PARTE FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL

17.1. ENROLADEIRA “POPE”

A seção de enrolamento ou de corte é a última seção da máquina de papel. Do rolo-cabeceira até a entrada na seção de enrolamento ou corte, o processo de fabricação da folha é

contínuo. Neste ponto, torna-se necessário transformar a folha contínua em unidades finitas e independentes, a fim de facilitar a sua manipulação e utilização posterior.

Basicamente, existem dois princípios usados para o enrolamento do papel: enrolamento por acionamento na face e enrolamento por acionamento no eixo. Cada um deles originou uma série de configurações de enroladeiras.

No enrolamento por movimento axial, a folha é enrolada em canudo fixo, e um eixo é acionado mecânica ou eletricamente. No caso de movimento mecânico, o eixo recebe movimento por meio de correias que utilizam embreagens para controlar a velocidade. Uma regulagem automática varia a velocidade do motor, de acordo com o aumento do diâmetro da bobina. Porém, como a velocidade de produção da máquina é praticamente constante e a rotação do eixo variável, o controle e a operação deste tipo de enroladeira são complicados, além de impossibilitar sua utilização em máquinas de alta velocidade. Isto faz sua utilização cada vez menos freqüente, praticamente limitada a máquinas que produzam papéis em que não possa haver atrito entre sua face e o cilindro de acionamento (como é o caso do acionamento na face).

No enrolamento por acionamento na face, há necessidade de regulagem da velocidade de enrolamento, à medida que aumenta o diâmetro da bobina, pois a velocidade periférica continua constante. As enroladeiras que trabalham com este sistema são conhecidas como “Pope” ou de superfície. São compostas de um cilindro de ferro fundido, parecido com um cilindro secador, cujo eixo é oco, podendo ser instalado em um sistema de refrigeração; e de um para de braços móveis, nos quais se apóia o canudo principal onde será enrolado o papel.

Em cima do cilindro está colocado um canudo auxiliar, apoiado em braços móveis, e a folha passa entre os dois antes de ser enrolada no canudo principal. O enrolamento se faz forçando o canudo contra o cilindro acionador. Quando a bobina atinge seu diâmetro máximo, rasga-se a folha por meio de ar comprimido, obrigando-a a enrolar-se sobre o canudo auxiliar, sem que haja interferência com a bobina já pronta. Em seguida, é retirada com o auxílio de ponte rolante e o canudo auxiliar é colocado em seu lugar.

O tipo de enroladeira esta muito ligada ao produto final fabricado. Quanto maior a qualidade final do papel, melhor tem que ser os controles da enroladeira. Na figura 17.01 vemos uma enroladeira do tipo “Pope”. Atualmente as enroladeiras podem ter os seguintes controles:

- Controle de pressão linear de enrolamento;
- Controle de tensão de enrolamento;
- Sistema de alimentação automática de tambor;

- Sistema completo de armazenamento de bobinas.

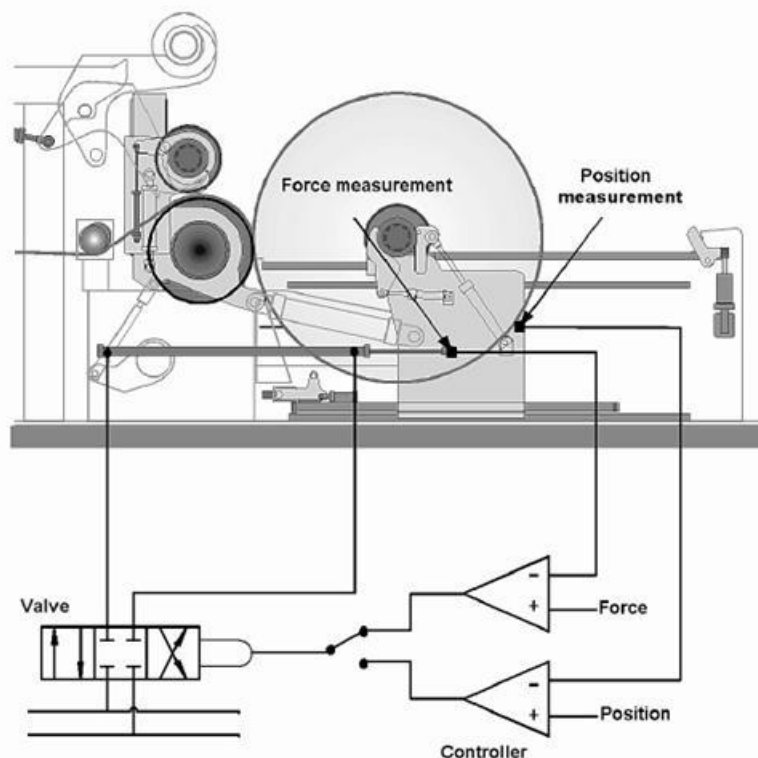


Figura 17.01 (FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2)

18. MATÉRIAS-PRIMAS NÃO FIBROSAS

18.1. CARGAS MINERAIS

A incorporação de materiais minerais de baixa granulometria à massa fibrosa, antes da formação da folha, é extremamente antiga, tendo sido praticado desde os primórdios da fabricação do papel. No princípio não se via a adição de cargas à massa como benéfica e alguns papéis, que tinham quantidade apreciável de carga, eram considerados adulterados. Mais tarde, com a expansão do uso do papel e o conseqüente aparecimento de vários novos requisitos, as cargas passaram a ser consideradas como parte integrante e, em alguns casos, imprescindíveis ao processo. Dentre as mais usadas podemos destacar: caulim, dióxido de titânio, carbonato de cálcio, talco etc.

O termo carga é utilizado devido ao peso das fibras que formam o papel, modificado pela adição de 5% a 40% de material inorgânico de maior peso específico e como redução desse mesmo percentual de fibras. O termo enchimento é usado quando o material preenche os espaços vazios do material fibroso.

A adição de cargas é necessária em *papéis de impressão*, onde têm como finalidade básica proporcionar maior uniformidade à superfície do papel e melhorar as características

tais como alvura, opacidade e lisura e, ainda, melhorar a imprimibilidade do papel formado, pois, em um papel com carga inorgânica, a calandragem produz melhores resultados, aprimorando as condições de uma boa impressão.

18.1.1. Caulim

O caulim é composto principalmente pelo mineral “caulinita”, um tipo de silicato de alumínio, ocorrendo em diversos depósitos naturais do nosso planeta, que teoricamente contém 39,5% de Al_2O_3 , 46,5% de SiO_2 e 14% de H_2O . Os caulins podem, dependendo de sua origem, variar quanto a sua composição, teor de impurezas coloridas, quartzo, mica ou outros minerais que alteram a brancura e a viscosidade do produto final, além de aumentar a abrasividade do produto.

O caulim a carga bastante empregada na indústria papeleira, tendo como principais efeitos: aumento de lisura, do lustro, da printabilidade, da opacidade e redução das resistências. Os papéis que utilizam caulim como carga são os de impressão e escrita de forma geral. Alguns tipos de caulim são utilizados em receitas de revestimento (“coating”) de papéis.

18.1.2. Carbonato de cálcio

O carbonato de cálcio é um produto de alta alvura e de custo elevado, sendo usado em papéis fabricados em meio alcalino, pois em meio ácido o carbonato se decompõe, formando gás carbônico.

Como o caulim, o carbonato de cálcio é a partícula mineral bastante utilizada como carga na fabricação de papel, pois, ele aprimora as características finais de alvura, opacidade e receptividade à tinta; sendo um pigmento bastante reativo, deve ser usado com algum cuidado. O carbonato de cálcio pode ser obtido diretamente do calcário (GCC), através de processos mecânicos, ou por precipitação (PCC), mediante reações químicas a partir de diversas matérias primas.

18.1.3. Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio apresenta partículas pequenas e fornece o maior índice de refração, conferindo alta opacidade ao papel. O custo elevado faz com que o dióxido de titânio tenha uso limitado, sendo empregado em papéis de alta qualidade, como o *papel Bíblia*, por exemplo, onde se requer pequena quantidade de carga para se obter a opacidade necessária, com pouca redução de resistência da folha.

O alto índice de refração e o minúsculo tamanho da partícula contemplam a opacidade como a propriedade mais alterada no papel por esse pigmento. A alvura também é melhorada, dispensando-se o uso de alvejantes ópticos. O poder de cobertura é o mais elevado dentre todos os pigmentos usados para “coating”, e sua grande desvantagem, concentra-se no custo elevado. Há desenvolvimentos recentes na procura de uma alternativa mais viável para o dióxido de alumínio hidratado, hidróxido de alumínio e o silicato de alumínio sinteticamente preparado.

18.2. AGENTES DE COLAGEM INTERNA

A colagem interna controla a penetração do líquido em toda a espessura, enquanto a colagem superficial tem objetivos mais específicos, e sua ação se limita às camadas mais ou menos superficiais. Quase sempre os papéis tratados em sua superfície já receberam colagem parcial na massa. A colagem na massa, por sua vez, pode ser ácida ou alcalina.

A colagem interna é também conhecida como colagem úmida por ser processada durante a preparação de massa. Ao se incorporarem agentes de colagem, tais como resinatos de breu, emulsões de ceras e caseína, dímeros de alquilceteno etc., a colagem será mais profunda, pois desenvolve a resistência à penetração de líquidos em toda a estrutura fibrosa do papel; enquanto que com a colagem superficial, esse efeito fica restrito à camada externa da folha.

A colagem interna, além de promover a impermeabilidade em toda a estrutura fibrosa, proporciona melhor retenção das cargas, fibras e outros materiais adicionados durante a preparação da massa, bem como, daí maior solidez e estabilidade à folha formada.

Existem basicamente dois tipos de colagem interna: a colagem ácida (atração eletrostática) e a colagem alcalina (reação química).

18.2.1. Colagem interna ácida

O produto a ser utilizado na colagem ácida tem que atender, previamente, certos requisitos, tais como:

- Ser altamente repelente à água;
- Ser disperso em pequenas partículas, de forma a fixarem-se nas paredes das fibras;
- Ser altamente atraído à superfície fibrosa, de forma a não desprender-se com a água;
- Não dissolver ou atacar a fibra de celulose.

O produto mais empregado, devido ao fato de apresentar todas as características acima, é o breu. O breu, cuja fórmula estrutural está na figura 18.01, é um material amorfo e de aspecto vítreo obtido da extração da goma resina da casca de *Pinus elliotti* ou *Pinus taeda* (este menos resinoso), que contém aproximadamente 85% a 90% de ácidos resinosos, sendo os mais importantes, o ácido abiético e o ácido pimárico.

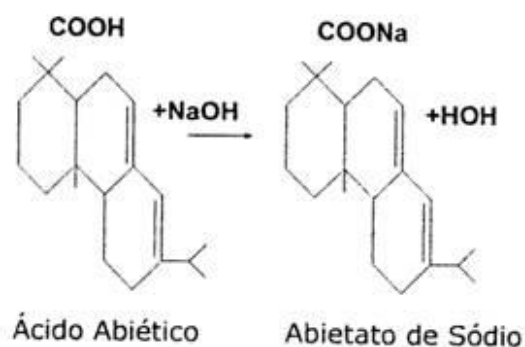


Figura 18.01 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A celulose em suspensão aquosa e o breu possuem cargas negativas, então, quando misturados, eles se repelem, não havendo colagem. Com base nisso é necessário adicionar um produto químico que mude a carga elétrica do breu para possibilitar que seja atraído pela fibra e, ao mesmo tempo, forme um precipitado sobre a fibra. O precipitante universal usado para esse fim é o sulfato de alumínio.

O processo inicia com a formação do precipitado de cola com a adição de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ em solução aquosa. Há primeiramente uma dissociação em sulfato e íons alumínio, os quais reagem com a alcalinidade da água ou com a própria água produzindo hidrato de alumínio e íons hidrogênio (responsável pela mudança de pH do sistema). Logo após, há a reação dos hidratos de alumínio com os resinosos de sódio (cola), produzindo o resinato de alumínio (precipitado). A precipitação do breu com sulfato de alumínio, formando o resinato de alumínio, reduz a energia livre superficial e aumenta a resistência à penetração de água. A precipitação da cola de breu (em meio ácido – H^+ liberado na dissociação do sulfato de alumínio em água) torna o resinato de alumínio positivo. As fibras em meio aquoso têm carga negativa (grupos hidroxilas), ocorrendo uma atração eletrostática entre elas e o resinato de alumínio.

Ao passar a folha de papel pelos secadores, o precipitado funde-se e reveste parcialmente as fibras com o material hidrófobo. A figura 18.02 mostra a reação simplificada da colagem com breu e sulfato de alumínio.

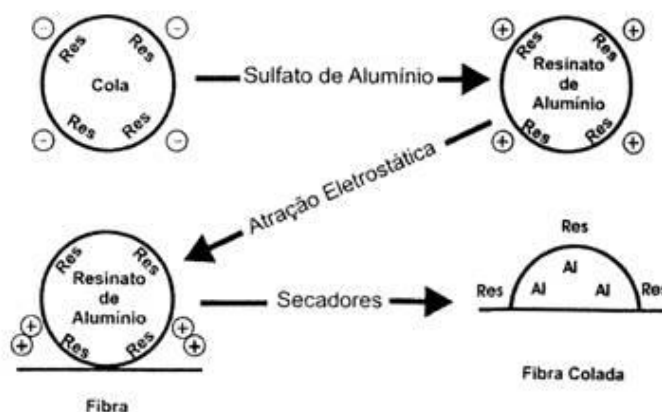


Figura 18.02 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A química dos íons de alumínio, dependendo do pH do ambiente, é bastante complexa. No caso do ciclo papelero, o intervalo de pH do ambiente situa-se normalmente entre 4,0 e 5,5, onde acontece a sua dissociação em íons de sulfato e de alumínio, com formação de precipitado coloidal de hidrato de alumínio de polaridade positiva.

A cola de breu, para uso como agente de colagem, é normalmente saponificada e convertida em resinato (uma saponificação geralmente realizada com hidróxido de sódio - NaOH) para aumentar a eficiência da colagem pelo aumento da força de atração com a celulose, permitindo a cobertura de maior área fibrosa, pela produção de colas fortificadas mesmo processando-se as mesmas reações já anteriormente expostas com o sulfato de alumínio (íon alumínio). Como vimos um dos fatores importantes e determinantes para o emprego do breu como agente de colagem é o grupo carboxila saponificável.

No processo com cola saponificada, o colante é adicionado antes do sulfato de alumínio. Os fatores que afetam o processo de colagem ácida são: pH da massa, relação cola/alumínio, dosagem de cola, influência da consistência da massa, ponto de adição, ordem de adição, tempo de contato e temperatura cola/sulfato com a massa, temperatura dos secadores e condições de secagem, influência da refinação, influência do nível de acidez do sistema e dureza da água.

18.2.2. Colagem interna alcalina

A colagem alcalina teve seu desenvolvimento no início dos anos 1.960 na Europa e sua aplicação inicial foi para cartões de embalagens de alimentos líquidos que têm padrões de qualidade bastante exigentes. O papel alcalino é mais branco, mais macio, tem maior

resistência mecânica, a colagem é mais estável, sofrendo poucas alterações pela ação do tempo.

A adoção do processo neutro-alcálico, ou colagem sintética, tem-se generalizado rapidamente, ganhando grande impulso nestes últimos anos no Brasil, especialmente nas classes de *papéis para impressão e escrita*, pois que este tipo de colagem lhes permite reter, mesmo depois de ensaios de envelhecimento, praticamente toda a alvura e resistência originais, em contraste com o que acontece com a cola de breu. Além disto, há a vantagem de se poder usar o carbonato de cálcio (CaCO_3) como carga mineral, reciclagem mais fáceis de papéis revestidos (“couché”), favorecimento da resistência física e economias operacionais. Por outro lado existe também a possibilidade de utilizar caulim no sistema de colagem alcalina, mas este não é um procedimento usual.

Enquanto a colagem ácida ou com cola de breu é baseada na precipitação do resinato de alumínio sobre as fibras, a colagem alcalina baseia-se na reação entre as cadeias graxas do agente de colagem e a celulose através de ligações covalentes. Por esse motivo que os agentes de colagem alcalina também são conhecidos como ‘agentes de colagem celulose reativos’.

As colas sintéticas reagem com os grupos hidroxilas da celulose a qual aderem mediante efetiva ligação molecular covalente. Este tipo de colantes possui moléculas dotadas de um grupo reativo que se une a celulose e de um grupo hidrófobo que se volta para fora. Fica, então, criada uma camada monomolecular firmemente ancorada à fibra, com capacidade de grande repelência à água. Atualmente existem dois agentes de colagem: Dímero Alquil Queteno (AKD) e Anidrido Alquenil Succínico (ASA). As figuras 18.03 e 18.04 mostram a ligação da celulose com a cola AKD e ASA, respectivamente.

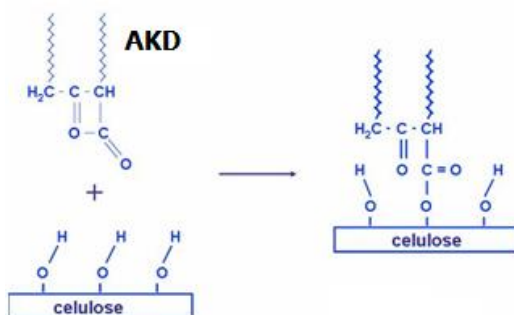


Figura 18.03 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

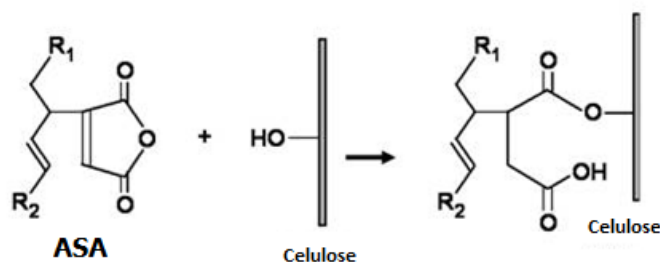


Figura 18.04 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

18.3. AGENTES DE RESISTÊNCIA A SECO

Os amidos e gomas são os aditivos mais utilizados para proporcionar maior resistência ao papel formado, melhorando sua resistência à penetração de líquidos, arrepelamento, e outras propriedades mais. A tabela 18.01 mostra alguns aditivos adicionados à massa para conferir resistência interna ao papel.

ADITIVO	DESCRIÇÃO
Amidos	Natural ou não modificado quimicamente.
Gomas	Dextrinas naturais ou modificadas quimicamente.
Derivados da celulose	Carboximetilcelulose; metil celulose; hemicelulose.
Polímeros sintéticos	Fenólicos; poliamidas; policrilamidas; uréia-formaldeído; melalina-formaldeído; poliamidas; látex.

Tabela 18.01 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

18.3.1. Amido

O amido é um produto bastante utilizado na fabricação de papel, além de sua aplicação na massa como adesivo para colagem de sacos, tubos, papéis laminados, papelão corrugado, entre outros, também é usado para melhorar propriedades mecânicas e superficiais do papel.

Na indústria de papel, o amido é utilizado com as seguintes finalidades:

- Melhorar propriedades mecânicas tais como resistência à tração e ao arrebentamento;
- Auxiliar na refinação;
- Melhorar resistência à abrasão superficial;
- Melhorar lisura e rigidez;
- Melhorar resistência à penetração de líquidos;
- Evitar formação de pó.

O amido é o mais comum agente de resistência a seco utilizado e corresponde a quase 95% dos produtos e aditivos destinados a esta finalidade. Normalmente, tem de ser “modificado” devido à retenção natural de um amido “in natura” ser ao redor de somente 40% (geralmente, para indústria de papel é necessário criar “sites” catiônicos). Sua utilização na

indústria papelreira é ampla: emulsões (colas alcalinas), “coatings”, agentes de colagem superficial. É constituído por dois tipos de estruturas: linear (amilose) e ramificada (amilopectina) (figura 18.05).

A estrutura linear da amilose tem uma grande tendência a formar cristais agregados (retrogradação do amido). O que normalmente interessa à fabricação de papel é a quantidade de amilopectina (alto peso molecular). O amido, em geral, é composto de pequenos grânulos (5 a 100 micra) e suas fontes principais estão descritas na tabela 18.02.

	Batata	Milho	Mandioca	Trigo
Amilose, %	20	24	16	25
Amilopectina, %	80	76	84	75
Peso molecular	Médio-alto	Médio	Médio-alto	Médio

Tabela 18.02 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

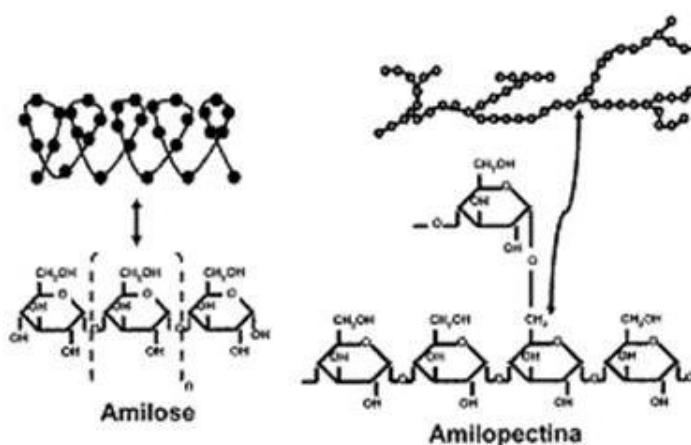


Figura 18.05 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

O amido pode ser “desenhado” devido a vários processos físico-químicos para adaptá-lo melhor à parte úmida ou para “coatings”, emulsões, etc. Isto o torna um aditivo importante, pois pode ser trabalho de acordo com as nossas necessidades. Os métodos de modificações de amidos são: modificações físicas, fracionamento em amilose e amilopectina, hidrólise ácida, modificações químicas, oxidação (amido superficial), conversão enzimática, etc. Os principais tipos de amidos são os catiônicos e os anfóteros.

18.3.2. Policrilamidas

Podem ser utilizadas tanto catiônicas quanto aniônicas. No caso de policrilamidas aniônicas é necessário prestar atenção ao pH. Normalmente requer alguma fonte catiônica (Al^{3+} em fabricação ácida para sua adsorção).

18.4. AGENTES DE RESISTÊNCIA A ÚMIDO

O reumidecimento de papel resulta em uma reidratação de fibras (quase que completa) e em uma perda de 95% (aproximadamente) em resistência. Agentes típicos de resistência a úmido são: Polímeros solúveis em água, iônicos (catiônico ou aniônico). Os grupos ativos mais comumente utilizados: epícloridrinamida (fabricação de papel especial, “tissue”, rótulo, embalagem), “glyoxal” (fabricação de papel especial, tissue, rótulo, embalagem), uréia formaldeído (“coatings”), melamina formaldeído (“coatings”), sendo que estes dois últimos são mais raramente usados devido à restrições impostas pelo setor de alimentação (FDA).

18.5. PIGMENTOS, CORANTES E ALVEJANTES ÓTICOS

18.5.1. Pigmentos

Os pigmentos coloridos foram os primeiros produtos utilizados para colorir papel e ainda hoje apresentam algumas vantagens sobre os corantes, como a boa estabilidade sob a ação da luz e certos agentes destrutivos. Contudo, seu poder tintorial mais fraco que dos corantes necessita de maior porcentagem.

Pigmentos coloridos são insolúveis em água. São inertes durante a fabricação de papel, reagindo como carga. Não têm afinidade por fibra, e por este motivo requerem alumínio ou fixador. Tendem a se concentrar na parte superior da folha (poderá ser diferente se utilizar alguma micropartícula) devido às suas propriedades de retenção. Carbono preto é um dos exemplos de pigmentos corantes.

Os pigmentos são encontrados no mercado na forma sólida ou em forma de dispersões. Os pigmentos não dispersos apresentam maior tamanho de partícula e, geralmente, requerem uma moagem capaz de reduzi-los a dimensões adequadas. Os tipos de pigmentos encontrados normalmente são: pigmentos naturais, pigmentos coloridos sintéticos inorgânicos e pigmentos coloridos sintéticos orgânicos.

O tamanho da partícula afeta de maneira significativa o grau de coloração fornecido ao papel e a resistência da folha, uma vez que as partículas mais grosseiras tendem a enfraquecer a formação da folha. *A presença de arenitos com características abrasivas no pigmento pode causar problemas de desgaste de tela, feltros e cilindros.*

Os pigmentos podem ser dispersos em água, o que permitirá adicioná-los diretamente aos refinadores na forma sólida. Essa adição pode ser feita antes ou depois da colagem interna, porém deve-se ter o cuidado para que o sulfato de alumínio não seja introduzido até que o pigmento seja todo misturado às fibras.

18.5.2. Corantes

Corantes e alvejantes óticos são substâncias que “dão” cor ao papel. Na indústria de papel, os corantes são mais utilizados para colorir papel que os pigmentos, pois são mais solúveis, possuem maior poder tintorial, maior gama de tonalidades, além de não alterarem as propriedades mecânicas da folha de papel. Os corantes dividem-se basicamente em ácidos, básicos, diretos e a base de enxofre.

18.5.2.1. Corantes ácidos

Os corantes ácidos são aqueles que produzem ou contêm ácidos; formados por sais alcalinos de ácido sulfônico (corantes). Este tipo de corante é obtido com a introdução de grupos fenólicos ou sulfônicos na molécula, e geralmente são encontrados na forma de sais de sódio, de potássio ou de amônio. São compostos levemente aniônicos e, devido a este fato, possuem pouca afinidade com a celulose. Necessitam, portanto, serem “fixados” à fibra através de alumínio ou a adição de algum agente catiônico. Primariamente destina-se a polpas branqueadas.

Sua solubilidade em água é elevada, o que pode causar problemas quanto a efluentes. Devido à sua boa solubilidade e baixa afinidade às fibras, normalmente poderemos ter problemas quanto à dupla face (diferenças de tonalidades nas faces tela/feltro). Problemas de retenção com corantes ácidos são perceptíveis pelo incremento da formação de espuma.

18.5.2.2. Corantes básicos

Os corantes básicos são obtidos de grupos amino (-NH), substituindo um ou mais hidrogênios ligados a anéis aromáticos, o que confere o caráter básico a este tipo de corante. Esses produtos são comercializados na forma de cloretos, sulfatos ou oxalatos.

Os corantes básicos são catiônicos, constituídos por sais de cloretos ou sais “duplos” de cloreto de zinco de diferentes “bases de corantes”. Têm baixa afinidade por celulose ou polpas branqueadas, mas grande afinidade com materiais de natureza ácida, tais como os grupos da lignina e outras partes “não celulósicas” da fibra. Portanto, aplicáveis em polpas com alto conteúdo de lignina (pastas mecânicas e pastas químicas e semi-químicas não branqueadas, utilizadas para papéis de embalagens, listas, jornal e polpas moldadas). Proporcionam cores fortes, “puras” e tonalidade distinta (porém, sua fixação é normalmente fraca). Alumínios ou outros “mordentes” não são necessários, porém, incrementam a eficiência.

Normalmente, este tipo de corante é utilizado em pastas mecânicas, TMP, CTMP, celulose não branqueada com dispersante aniônico, misturas de fibras (com lignina). O tingimento pode ser feito diretamente na massa ou via imersão.

18.5.2.3. Corantes diretos

Os corantes diretos estão relacionados com os corantes ácidos, porém são mais complexos e menos solúveis e, principalmente, possuem maior afinidade com a celulose (por isto que são chamados de diretos). O maior grau de retenção desses corantes pelas fibras se explica em parte pela sua menor solubilidade, pois grande número deles forma suspensões coloidais em meio aquoso.

Para conferir solubilidade em meio aquoso, introduz-se um grupo sulfônico e é neste ponto que os corantes diretos assemelham-se aos corantes ácidos. São obtidos a partir de corantes que possuam radicais amina e, durante o tratamento, formam grupos diazo, combinando-se com outras aminas aromáticas e fenóis para produzir moléculas maiores, conhecidas como corantes diretos.

Alguns fixadores catiônicos podem auxiliar no processo de fixação. Constituem o mais importante grupo de corantes para a fabricação de papéis. Utilizados em papéis de alta qualidade e aplicáveis em papéis colados e não colados. A solubilidade em água é baixa. A fixação é boa ou muito boa. A maior desvantagem é que as cores não são sempre puras e límpidas como as obtidas pelos corantes básicos e ácidos.

18.5.2.4. Os corantes a base de enxofre

Os corantes a base de enxofre são de pouco uso na indústria papelreira. Os corantes de enxofre são insolúveis em meio aquoso, e por isso exigem um tratamento com agentes redutores em meio alcalino. Nesta forma, o corante se dispersa facilmente em meio aquoso e ainda possui boa afinidade com as fibras celulósicas. Esse papel colorido, quando exposto ao ar, sofre oxidação e o corante volta a ser insolúvel em água.

A principal característica dos papéis coloridos com este tipo de corante é a firmeza da fixação; não sendo diluído por líquidos, não mancha e não altera a cor de outros componentes quando misturado com outros tipos de pasta.

18.5.3. Alvejantes óticos

A necessidade atual para papel de impressão e escrita é de que ocorra uma compensação significativa do amarelo que é a cor natural dos substratos envolvidos levando-o para uma coloração azul avermelhada, que corresponde à sensação subjetiva de 'branco' para o olho humano.

Para tanto, são utilizados alvejantes ópticos, substâncias químicas complexas que possuem a propriedade de absorver radiação eletromagnética invisível na região do ultravioleta (200 a 400 nm), reemitindo-a na faixa visível do azul-violeta (420 a 480 nm) (figura 18.06); esta propriedade é denominada ‘fluorescência’.

Concomitantemente ao uso dos alvejantes, são também utilizados corantes ou pigmentos que, devido à tonalidade de sua emissão, também possuem a propriedade de compensar a tonalidade amarelada dos substratos, porém, com decréscimo da luminosidade final do papel.

A eficiência do alvejante óptico é proporcional ao grau de brancura da polpa. Pasta mecânica e CTMP normalmente apresentam lignina que anula o alvejante ótico (absorção de UV). Podem contribuir para a perda de eficiência do alvejante ótico, os corantes amarelos, componentes do “furnish”, agentes de resistência e alguns agentes de retenção que possuem visível absorção na região azul do espectro. Dióxido de titânio e breu diminuem também o efeito da aplicação de alvejante ótico.

Ainda interferem na eficiência do alvejante ótico os agentes catiônicos fortes: agentes de resistência, colas alcalinas (reativas), polímeros catiônicos, amidos catiônicos, agentes de coagulação (pontos de aplicação). Não devem ser misturados / aplicados diretamente com alumínio. “Slimicidas” e biocidas catiônicos devem ser cuidadosamente estudados ou evitados.

18.6. ADITIVOS AUXILIARES DA FABRICAÇÃO (ANTIESPUMANTES, AGENTES DE RETENÇÃO, ETC.)

18.6.1. Antiespumantes e desaerantes

Os antiespumantes previnem formação de espuma e sedimentações associadas. Normalmente, os antiespumantes são utilizados quanto temos agentes de resistência a úmido, onde os problemas de espuma são mais graves. O uso destes produtos deve ser controlado, pois normalmente produzem ação “release” ou afetam a capacidade de absorção de água.

Desaerante ou desaerificante é um produto químico cuja finalidade é remover o ar da massa na fabricação de papel.

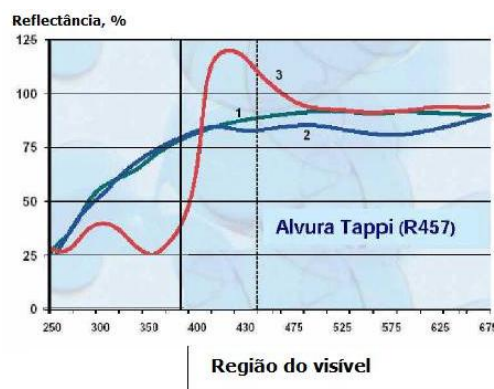


Figura 18.06 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

18.6.2. Aditivos de retenção

18.6.2.1. Retenção

A retenção pode ser definida como a proporção de um componente da massa de papel que é encontrada em um estágio mais adiante do processo. É um dos processos mais importantes na química da parte úmida da máquina de papel devido a sua influência nos custos de produção e qualidade do papel. Como a retenção das fibras ocorre praticamente por filtração e numa grandeza de algo como 95% ou mais, o grande empenho da química da parte úmida é a máxima retenção das partículas coloidais (finos, cargas, etc.) durante a formação da folha de papel.

Consideram-se finos a fração do material que passa por uma peneira de 200 mesh. Os finos podem evidenciar natureza orgânica ou inorgânica. Entre os finos orgânicos encontram-se as células existentes no tecido vegetal (células radiais, medula, etc.), fragmentos de material provenientes do processo (picador, refino, etc.) e materiais reciclados incorporados à massa. Os finos inorgânicos constituem-se nos sólidos adicionados à massa para modificação de algumas propriedades. O teor de finos na folha afeta consideravelmente as propriedades óticas, superficiais e de resistência do papel. Além disso, as partículas finas passam para o sistema de água branca, provocando problemas de recuperação, manuseio e perdas no efluente da fábrica.

Sem um programa de retenção efetiva, grandes quantidades de finos e cargas podem passar pela tela durante a formação da folha, visto que estas partículas têm dimensões muito menores do que as das fibras (figura 18.07).

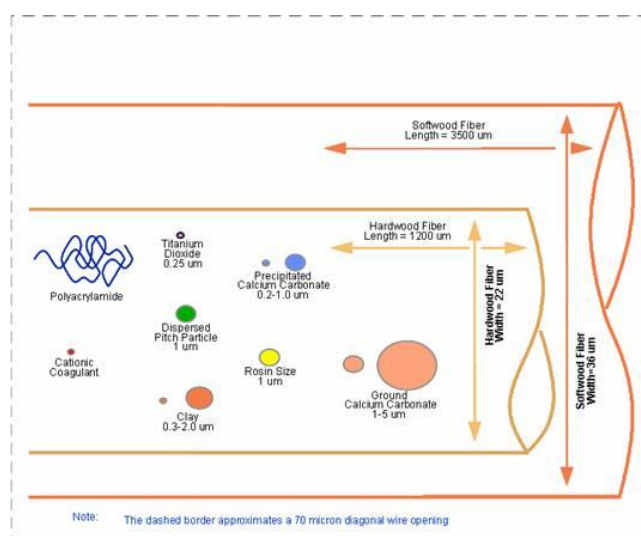


Figura 18.07 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

Na interface “sólido/água” de um sólido em suspensão desenvolve-se uma carga elétrica que, no caso da fabricação de papel, é devida à dissociação de componentes da superfície das fibras ou da adsorção de algum químico eletricamente carregado. Esta primeira camada de íons é envolvida por outra, mais difusa que a primeira, com sua própria carga elétrica e há, por fim, a suspensão fibrosa como um todo, ou a massa para papel, que também tem seu potencial.

18.6.2.2. Considerações sobre o ‘Zeta Potencial’

Sabe-se que quase todos os constituintes do papel, e em particular as fibras de celulose e as cargas possuem uma carga negativa quando dispersas ou dissolvidas na água, causando uma fraca ionização na superfície das moléculas e sendo comum a adsorção de íons da mesma.

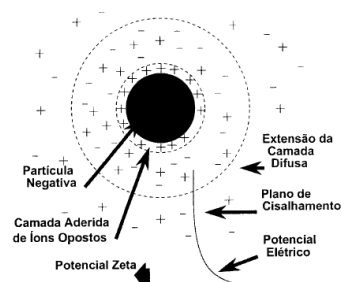


Figura 18.08 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

As consequência elétricas de uma superfície carregada na água são vistas na figura 18.08, que mostra uma partícula eletronegativa como o caulim, por exemplo, em suspensão na água.

A carga negativa do caulim, por exemplo, é devida à adsorção de íons OH^- em certos pontos da superfície. Uma partícula de caulim em suspensão na água é envolvida por um filme de HOH chamado camada de água difusa que é, todavia, menos ligada do que a camada de íons OH^- adsorvidos. Esta teoria de dupla camada foi devida a Von Helmholtz e depois confirmada por vários cientistas.

A diferença de potencial na camada difusa é chamada potencial eletrocinético ou ‘Zeta Potencial’, representando a carga eletronegativa adsorvida pelas partículas em suspensão na água. O ‘Zeta Potencial’ que é indicado em mV (‘milivolts’) pode ser usado pelo papeleiro como importante indicador na definição das condições mais adequadas para a fixação de finos e cargas às fibras. Em outras palavras, do grau de retenção de seu processo de formação da folha.

Um ‘Zeta Potencial’ nulo quer dizer uma ausência completa de forças repulsivas entre as partículas, isto é, uma aptidão para estas aderirem umas às outras e assim flocularem

formando aglomerados. Portanto, uma boa retenção na máquina de papel pressupõe a necessidade de haver um ‘Zeta Potencial’ próximo de zero.

18.6.2.3. Agentes de retenção

Tradicionalmente, a indústria química vem oferecendo três principais grupos de agentes de retenção:

- Produtos inorgânicos (sulfato de alumínio, aluminato de sódio, substâncias minerais etc.);
- Produtos orgânicos naturais e seus derivados (amidos, CMC, cola animal etc.);
- Produtos orgânicos sintéticos: polietilenoiminas e suas modificações, poliamida-aminas e suas modificações, e poliacrilamidas e seus derivados.

Por muito tempo a indústria papeleira utilizou apenas o sulfato de alumínio, polieletrólito inorgânico, como agente de retenção. Atualmente, o uso de polietetrólitos orgânicos sintéticos tornou-se uma prática bastante comum, com melhoras consideráveis na retenção de finos.

O polieletrólito é basicamente um polímero orgânico que apresenta grupos funcionais; carregado eletricamente, ou neutro, torna-se carregado em solução aquosa, o que permite sua solubilidade em água e sua atuação como eletrólito.

Os polieletrólitos podem ser classificados de acordo com a funcionalidade dos grupos iônicos (carga) em: não iônicos, aniônicos, catiônicos e anfóteros. Os polieletrólitos não iônicos não possuem cargas em solução. São capazes de desenvolver uma carga transiente em solução aquosa, via protonação. Como resultado, são solúveis em água e se comportam como polieletrólitos fracos. Nesta categoria podemos citar: poliálcoois, os poliéteres e as poliamidas.

Os produtos aniônicos possuem grupos funcionais ácidos sulfônicos, fosfônicos ou carboxílicos, portanto, com carga negativa. Esses polímeros são normalmente utilizados em sistemas ácidos que contenham sulfato de alumínio.

Os polímeros catiônicos contêm grupo funcional com carga positiva que reside em um enxofre trissubstituído (sulfônico), em fósforo tetrassubstituído (fosfônio) ou em um nitrogênio tetrassubstituído (amônio).

Os polieletrólitos anfóteros possuem ambos os grupos funcionais, na mesma cadeia polimérica. Sua vantagem está na capacidade de funcionar sob condições mais diversas, incluindo uma ampla faixa de pH.

Os polieletrólitos podem ser obtidos na forma sólida (mais fácil transporte), solução aquosa (fácil manuseio) e ainda na forma de emulsão (alto peso molecular de fácil manuseio).

Vários estudos mostram que pastas em dispersão aquosa apresentam uma carga superficial negativa. Observa-se também que, ao aumentar essa concentração de sais, esse potencial negativo é reduzido, sendo esse efeito acentuado na presença de sais portadores de cátions multivalentes ou polímeros catiônicos. Há, portanto, uma estreita correlação entre a redução do potencial negativo e os fenômenos de floculação e retenção.

Polímeros de cadeia muito longa, embora não provoquem alteração da carga superficial, são capazes de formar pontes entre as superfícies altamente resistentes à turbulência, desencadeando a floculação e a retenção.

18.6.2.4. Coagulantes

Uma característica comum dos coagulantes é a alta densidade de carga e baixo peso molecular. O mais comum é o sulfato de alumínio, porém, existem coagulantes sintéticos como as poliaminas, onde a maioria é solúvel em água e podem ser dosados diretamente na massa.

Os coagulantes poliméricos são 100% catiônicos e variam entre si em relação ao peso molecular e intensidade de carga. Pode-se afirmar que o amido quando adicionado na massa (alta consistência) funciona também como um coagulante no sistema.

A coagulação não é instantânea. Um pouco de tempo é necessário para que o coagulante faça o contato inicial com as partículas e seja adsorvido pela sua superfície. Entretanto, se houver muito tempo de contato o coagulante pode entrar na esfera das partículas perdendo parte de sua força de neutralização.

Os pequenos flóculos formados ou agregados que podem ser formados durante a coagulação, podem ser quebrados em áreas de tensão como no sistema de “approach flow”, por exemplo: cleaners, depurador vertical, refinadores bomba de mistura. Os flóculos formados durante a coagulação podem ser formados novamente após passarem pelos pontos de alta tensão de cisalhamento.

18.6.2.5. Floculantes

Os floculantes são polímeros de alto peso molecular, com função de criar pontes entre fibras, finos, cargas e mantê-los presos na folha de papel. Poliácridamidas são os floculantes mais utilizados. Produzidos pela polimerização do monômero da acrilamida, dominam o

mercado devido à química da amida que forma pontes de hidrogênio com a celulose e outros aditivos.

Também apresentam um bom custo/benefício, podendo ser manufaturado até um peso molecular elevado, e podendo ser modificado entre catiônico e aniônico. A principal função da carga iônica e estender a cadeia o mais longe possível.

Um polímero não modificado fica enrolado como uma mola em soluções aquosas, pois não existem forças que mantenham a cadeia estendida em seu completo comprimento. A figura 18.09 mostra as ações de coagulação e floculação combinadas:

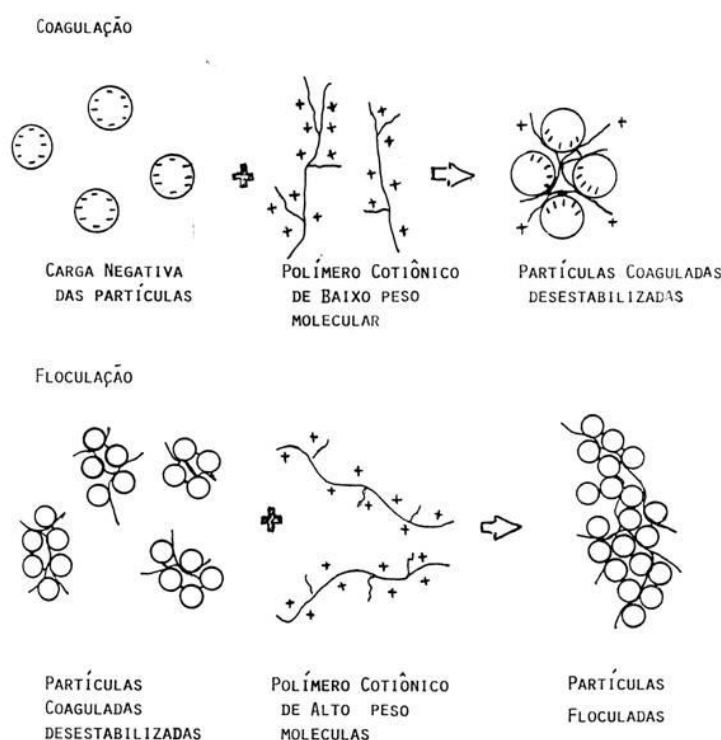


Figura 18.09 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

18.6.2.6. Sílica coloidal

A dispersão de sílica coloidal é utilizada em conjunto com o agente de retenção para maximização da retenção, drenagem, resistência e formação da folha. A utilização da sílica proporciona algumas vantagens no processo, como:

- Maximizar a retenção;
- Aumenta a qualidade da folha formada, reduzindo a dupla face;
- Reduz o consumo de agentes de resistência, carga, cola, amido e corante;
- Reduz perdas e custos de tratamento de efluentes, devido incremento de retenção.

18.6.3. Cal hidratada

Usado para acerto de pH (aumenta), tem a propriedade ideal para subir a dureza da água do sistema. É usado também para a formação de “coating” no secador com a aplicação conjunta de uma resina.

18.6.4. Sabão para limpeza de feltros

São sabões utilizados para limpeza de feltros, que normalmente são empregados após a lavagem com solução de soda, usados sob a forma de solução.

18.6.5. Querosene e xileno

São solventes derivados do petróleo, comumente utilizados para a remoção de “pitch”, “stickies” e outros contaminantes da celulose e sistemas com graxas que aderem aos feltros e tela.

18.6.6. Talco

Trata-se de uma rocha pulverizada cujas partículas possuem características de absorção. Tal produto é utilizado para a redução dos efeitos nocivos do “pitch” residual da celulose e outros contaminantes que se depositam sobre as vestimentas das máquinas de papel.

18.6.7. Cloreto de cálcio

Trata-se de um produto inorgânico que quando em solução, libera o íon cálcio que confere a dureza necessária à água do sistema para a formação do “coating” no secador “Yankee”. Além disso, os íons cloreto (Cl⁻) funcionam como fixador de corantes. Sua fórmula estrutural é CaCl₂.

18.6.8. Fosfato de amônio monobásico (MAP)

Trata-se de um produto inorgânico que é dosado sob a forma de solução em “spray”, diretamente no feltro, ou no cilindro “Yankee”, de forma a proteger a sua superfície do desgaste mecânico. Sua fórmula estrutural é NH₄H₂PO₄.

18.6.9. Agentes condicionadores de feltro e tela

Composto orgânico à base de resina amina-formaldeído que age formando uma película sobre as vestimentas a fim de que não haja aderência de “pitch” e “stickies” nas mesmas.

18.6.10. Agentes para controle de depósitos

Evita a formação de depósitos de modo a eliminar pintas e manchas no papel, decorrentes de material orgânico.

18.6.11. Microbiocida

Controla os microorganismos presentes no processo, tornando a máquina com baixo nível de contagem de fungos e bactérias, e aumentando o intervalo entre as lavagens químicas (“boil out”).

18.7. ALOCAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS EM FUNÇÃO DO TIPO DE PAPEL

(tabela 18.03)

Normalmente usado												
Pode ser usado como substituto ou complemento												
Não necessita ser usado												
Aditivo funcional	Propriedade esperada	Impressão escrita	Papel higiênico	Papel toalha	Guardanapo	Papel facial	Imprensa	Corrugado (capa)	Corrugado (miolo)	Kraftliner	Bíblia	Papel para sacaria
Cola de breu e sulfato de alumínio	Resistência à absorção de água											
Colas sintéticas (ASA ou AKD)	Resistência à absorção de água											
Amido (uso na massa)	Resistência a seco											
Amido (uso superficial)	Resistência superficial											
Resinas de resistência a úmido	Resistência a úmido											
Carga mineral (carbonato de cálcio)	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Carga mineral (caulim)	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Dióxido de titânio	Aumento signif. da opacidade											
Alvejante óptico	Aumentar brancura do papel											
Matizantes e corantes	Ajustar parâmetros "L", "a" e "b"											
Fibra química longa	Aumento signif. das resistências											
Fibra química curta	Melhorar formação, opacidade e maciez											
Pasta de alto rendimento (P.A.R.)	Melhorar "bulk", opacidade e reduzir custos											
Fibras secundárias (recicl.)	Reduzir custos											

19. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS PARA OS VÁRIOS TIPOS DE PAPÉIS

19.1. DESCRIÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES DE FORMA GERAL

Antes de discriminar as principais propriedades específicas para cada tipo de papel, serão descritas algumas destas propriedades de uma maneira geral, incluindo seus métodos de ensaio.

19.1.1. Formação

A estrutura interna do papel definida como grau de dispersão com o qual as fibras e demais constituintes são distribuídos no papel, também chamada de formação interna ou simplesmente, formação, tem mais importância no comportamento do papel do que normalmente lhe conferem, uma vez que influenciam várias outras propriedades do papel como permeância ao ar, opacidade, estabilidade dimensional, resistência à tração, ao rasgo, ao arrebatamento, dupla face etc.

O conceito de formação se refere à uniformidade, em quantidade e qualidade, em que as fibras são distribuídas no papel. No nível físico, poderíamos comparar esta característica à uniformidade com que o papel transmite a luz. Assim, pois, o melhor papel será aquele que apresenta um aspecto uniforme contra a luz o mais próximo possível ao que observaríamos através de uma lâmina de plástico matizada (figura 19.01).

Em *papéis de impressão*, por exemplo, uma formação pobre produz impressão não uniforme, e em papéis para escrita diminui a aparência. A formação é influenciada pelas variações na preparação de massa tal como grau de refino, por exemplo, pelas operações da máquina de papel tais como relação jato-tela, frequência do rolo sacudidor (“shaking”) etc. e pelas variáveis referentes às matérias primas tais como comprimentos de fibras e a tendência das fibras a floculação (agregado) na caixa de entrada.

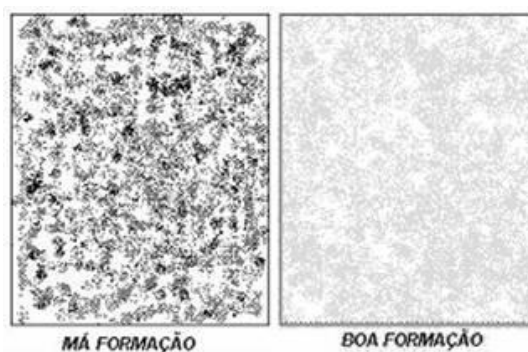


Figura 19.01 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

Existem vários instrumentos para medir a uniformidade da formação com base na quantidade de luz transmitida através do papel. Este sistema trabalha pela varredura da superfície fazendo atravessar um raio estreito de luz progressivamente por todos os pontos da amostra a analisar. A luz transmitida se recolhe mediante célula fotoelétrica pelo lado

contrário do papel e se registram as flutuações bem seja em um indicador de agulha, em forma de gráfico sobre o papel ou com ajuda de um dispositivo digital que nos pode dar valores médios, mínimos e máximos.

19.1.2. Gramatura

Gramatura é definida como a massa em gramas de um metro quadrado de papel (g/m^2). Possivelmente a gramatura seja um dos parâmetros mais conhecidos do papel posto que influi bastante sobre as características do produto acabado e devido ao fato do papel ser normalmente comprado a “peso” (na realidade o termo correto é “massa”).

Na América do Norte este parâmetro denominado gramatura se substitui pelo conceito de “peso básico” a qual expressa o peso básico em libras de uma resma de papel (500 folhas) cortada a sua medida “básica”. Esta medida básica varia segundo os tipos de papel. Para papéis de imprimir e escrever o tamanho é de 17 x 22 polegadas e para papéis tissue o tamanho é de 24 x 36 polegadas, por exemplo. Gramatura é o peso básico de papel expresso em gramas por metro quadrado, e é independente do número de folhas.

O teste para determinação da gramatura poderá ser feito cortando-se um metro quadrado de papel e depois se pesando esta área. Mas, normalmente, não se procede assim para a determinação da gramatura, principalmente devido a dois fatores:

- Dificuldade em se ter um metro quadrado exato de papel;
- Necessidade de rapidez e facilidade de manuseio no procedimento do teste.

Normalmente, a determinação da gramatura do papel é feita por uma das seguintes maneiras:

- Cortando-se uma área pequena do papel (10 cm x 10 cm), por exemplo, pesando-se esta área e extrapolando-se o peso obtido para 1 m^2 , por uma simples regra de três;
- Cortando-se uma área previamente determinada (25 cm x 40 cm) e pesando-se em uma balança apropriada onde se obterá diretamente o peso de 1 m^2 . A tolerância de gramatura normalmente aceita para papéis finos é de $\pm 5 \%$.

Na figura 19.02 é mostrada a balança digital de gramatura modelo BG-2000 da REGMED.



Figura 19.02 (FONTE: www.regmed.com.br)

Existe uma interrelação muito forte entre permeância ao ar, espessura, umidade, aspereza e gramatura. Praticamente, não se pode modificar nenhuma destas características sem afetar as demais. Se por exemplo, se reduz a gramatura mantendo a espessura e a umidade constante, a permeância ao ar e aspereza aumentará de valor.

No caso dos papéis para *impressão e escrita*, a especificação da gramatura de um papel está na razão direta do uso a que se destina e daí sua importância. Como exemplos práticos: emprega-se um papel de baixa gramatura para uma correspondência e ao contrário em se tratando de uma capa de livro, um convite de casamento ou uma ficha de registros.

No caso do *papelão corrugado*, a gramatura poderá afetar a qualidade do rebobinamento, ocasionando posteriores problemas na conversão. Pode afetar também o peso final da caixa formada.

Para os papéis usados na *sacaria*, a escolha da gramatura está vinculada a capacidade do papel atender as propriedades ligadas à resistência e a permeância ao ar. O ideal é que, atendidas estas propriedades, a gramatura seja a menor possível, pois, estará economizando matérias primas, especialmente fibras.

19.1.3. Espessura ou “caliper”

Espessura ou "caliper" é definida como a distância perpendicular entre as superfícies principais do papel e papelão (cartão) sob condições específicas. O controle de espessura é importante em todos os tipos de papel e papelão e, em particular, naqueles cujos beneficiamentos e/ou utilização exigem rigor neste aspecto. Por exemplo, a espessura de um livro está diretamente relacionada à espessura do papel usado.

A comprovação da espessura do papel como valor absoluto tem sentido quando se trata de comprovar se esta medida corresponde a o que se havia solicitado. Devido ao fato do conteúdo de umidade afetar a espessura e, muitos papéis e papelões mostrarem alguns graus de compressibilidade, várias medidas são feitas em áreas específicas das amostras de teste sob condições ambientais controladas, e sua medida média é então considerada como representativa da espessura deste papel em particular.

Não obstante, resulta em geral muito mais interessante comprovar como característica do papel a uniformidade desta espessura dentro da folha e de uma folha a outra de uma mesma fabricação. Pela forma com que se constitui a folha de papel durante a fabricação pode compreender-se que sua superfície não é perfeitamente plana e que pode apresentar irregularidades em uma ou outra face que afetam diretamente a espessura nestes pontos.

A uniformidade da espessura também é um fator de extrema importância como é caso de alguns tipos de papel em que se requer pouca variação transversal e longitudinal. Um perfil transversal irregular de espessura produzirá defeitos conhecidos no mundo papelero como “canais”, “pneus”, “beirada mole”, etc.

O teste para determinação da espessura é feito em aparelho chamado micrômetro (figura 19.03), cuja característica principal é ter dois discos planos e paralelos entre os quais se coloca a amostra do papel. O disco inferior é fixo e o superior é móvel na direção perpendicular ao outro.

Normalmente o resultado é expresso em milímetros (mm) ou micrometro (μm) que também é denominado micra (μm).

A faixa de espessura vai de 0,0003 polegadas (0,008 mm) para papéis usados em capacitores até 1 polegada (25,4 mm) ou maior para papelões usados para fins específicos.

A espessura aumenta com o aumento do comprimento de fibra usada e da gramatura. Por outro lado, a espessura diminui com o aumento da refinação, da prensagem e da calandragem. O Aumento do conteúdo de umidade propicia uma maior calandragem, diminuindo a espessura. Por outro lado, existem propriedades que são dependentes da espessura, como a rigidez a flexão, por exemplo.

Para os papéis de *impressão e escrita*, a espessura é importante, também, para obtenção de bons resultados em impressoras tanto rotativas como de alimentação por folhas, onde variações de espessura produzirão rugas (fichas ou enfichas) no momento da impressão.

As variações de espessura na folha de papel têm, também, como consequência diferenças de intensidade na cor da tinta impressa devido à pressão irregular no momento da transferência. Logicamente, se o ponto de impressão está regulado a uma pressão determinada, as zonas de papel que apresentam maior espessura sofrerão maior pressão e as zonas com menos espessura terão uma menor pressão. A espessura das películas de tinta



Figura 19.03

(FONTE: www.regmed.com.br)

transmitida variará de acordo com a espessura do papel. Além disto, a maior pressão existente nas zonas mais espessas do papel provocará uma maior penetração da tinta no corpo do papel, com o que poderá diminuir a opacidade nestas áreas.

No caso dos papéis para *impressão e escrita*, o miolo de um livro deve se encaixar com precisão na lombada da capa, cujo vinco é feito numa operação distinta, por exemplo. Na impressão a cores, tanto num chapado como num reticulado, uma diferença de espessura provocará diferentes tonalidades. As máquinas que montam os cadernos produzidos com *papéis apergaminhados* possuem mecanismos precisos de contagem de folhas.

Segundo a classe e acabamento do papel a uniformidade é maior ou menor. Assim, *papéis offset ou apegaminhados* têm uma uniformidade deficiente, enquanto que os *papéis revestidos* (“couché”, por exemplo) apresentam uma maior uniformidade de espessura. A tolerância que normalmente se aceita para a espessura é da ordem de $\pm 4\%$.

Uma espessura irregular, para o caso do *papelão corrugado*, pode causar problemas de tensão durante o desbobinamento e contribuir para o empanamento das chapas.

Todos os *papéis “kraft”* utilizados para embalagens são extremamente dependentes das suas propriedades mecânicas, assim uma espessura maior pode (para a mesma gramatura) diminuir o rasgo e a tração, enquanto uma espessura maior (menor?), diminuirá o estouro e as dobras duplas.

Para os *cartões duplex e triplex*, a rigidez é a principal propriedade destes produtos, sendo inversamente proporcional a espessura. Por outro lado, a operação de vincagem é muito delicada, cobrando uniformidade na espessura do cartão.

Por sua vez, os *papéis “tissue”* cujas propriedades tais como a maciez, a absorção e o alongamento, além do próprio fator de crepe, são dependentes do volume que a folha possa manter e, portanto, são dependentes da espessura.

19.1.4. Volume específico ou “bulk”

Volume específico ou “bulk” é outro parâmetro muito importante na fabricação de papel; é um termo usado para indicar o volume de papel em relação a sua massa, e é o recíproco de massa específica. O “bulk” é calculado a partir da divisão da espessura (em μm) pela gramatura (g/m^2). Esta propriedade está relacionada com muitas outras propriedades da folha. Uma redução do “bulk” torna a folha mais lisa, mais brilhosa, menos opaca, menos resistente etc.

Alto “bulk” é desejado em papéis “*tissue*”, enquanto que para alguns tipos de papéis específicos para *impressão* como papel bíblia (“bible paper”) e papel para dicionários (“dictionary paper”) é desejado um valor baixo de “bulk”.

19.1.5. Umidade

Teor de umidade é o teor de água no papel em termos percentuais (%). A umidade afeta várias das características do papel tais como gramatura, resistência, propriedades elétricas, etc. e é muito importante na qualidade de vários processos de beneficiamento incluindo revestimento, entintamento, impregnação, calandragem, impressão, etc.

Genericamente, a determinação do teor de umidade é feita da seguinte maneira: pesa-se o papel, seca-se o mesmo em estufa, pesa-se o papel seco e calcula-se o valor percentual da diferença de peso sobre o peso do papel antes de secar. Devido ao fato da umidade afetar fortemente as propriedades do papel, a avaliação das propriedades em laboratório deve ser realizada sob uma temperatura e umidade relativa padrões, como foram vistas anteriormente. Sob condições padrões o conteúdo de umidade de muitos papéis deverá estar entre 7% e 9%.

A umidade do papel é função da umidade relativa da atmosfera e por esta razão é considerado um material higroscópico. O papel, tal como o cabelo humano e o algodão, é higroscópico devido à forte atração por moléculas de água exibido no caso da celulose, hemicelulose e outros componentes das fibras fabricadas a partir da madeira. O conteúdo de umidade de uma folha de papel é dependente da umidade relativa de sua atmosfera ambiental.

Nos papéis usados para *impressão e escrita*, a folha cujo teor de umidade não está em equilíbrio com as condições da sala de impressão está sujeito a perder a sua planicidade. Um aumento na umidade relativa causa no papel um aumento do conteúdo de umidade e um decréscimo na umidade relativa faz o papel perder umidade.

A umidade do papel deve ser correta para o processo “offset”, caso contrário resultará em mau registro, encanoamento, rugas, eletricidade estática e distorção da imagem impressa, dependendo da estabilidade dimensional do papel, obviamente.

A umidade baixa causa excesso de eletricidade estática. A umidade muito alta causa dificuldade na secagem da tinta, diminuição da resistência superficial, impresso com baixo brilho, baixo poder de cobertura e risco de quebras em máquinas rotativas. O papel deve ser fornecido para impressão com um teor de umidade em torno de 7% e a sala deve estar a, aproximadamente, 65% de umidade relativa, no caso de países tropicais. Caso não sejam verificadas estas condições, o papel deve permanecer na sala de impressão até que seu teor de umidade esteja em equilíbrio com a umidade contida no ambiente. A variação do perfil de

umidade causa impressos com aspectos diferentes, perda de registro e irregularidade no tensionamento da folha.

Para o *papelão corrugado*, a umidade pode causar encanoamento e ondulação da chapa, e pode afetar também a colagem do miolo com a capa.

19.1.6. Resistência ao arrancamento superficial

É a capacidade do papel de se opor ao rompimento e à remoção de fragmentos na sua superfície, quando em contato com algum material. Comumente são usados dois tipos de testes para se medir a resistência ao arrancamento superficial:

- Aparelho IGT: este é usado, principalmente, em *papéis revestidos (“couché”)*. O princípio de funcionamento do aparelho IGT é imprimir o papel com tinta padrão e com velocidade uniformemente acelerada. Depois se verifica em que ponto iniciará o arrancamento.
- Teste de Dennison (figura 19.04): Neste teste são usados vários bastões de cera cujas forças adesivas são diferentes. Os bastões têm numeração crescente à medida que aumenta o poder de adesão. Estes bastões são derretidos e colocados sobre a superfície do papel. Na série de ceras, a de número mais alto que não alterar a superfície do papel, corresponde ao resultado numérico do teste. O teste de Dennison é utilizado para *papéis não revestidos*, pois, no caso dos revestidos, a cera aquecida derrete os componentes do revestimento, fornecendo uma falsa leitura.

No caso dos papéis para *impressão e escrita*, muitos processos de impressão e conversão requerem que a superfície do papel apresente suficiente resistência superficial ao arrancamento, principalmente aqueles de velocidade alta, de maior contato com o papel, e de tinta com alto pegajosidade. No processo “offset”, a tinta é mais espessa e com mais pegajosidade do que no processo tipográfico. Por isso, aparece mais frequentemente, em “offset”, o problema do arrancamento.

As tintas têm certo grau de pegajosidade (“tack”), logo, é de se esperar que elas exerçam uma força sobre a superfície do papel à medida que a película da tinta se separa da placa.

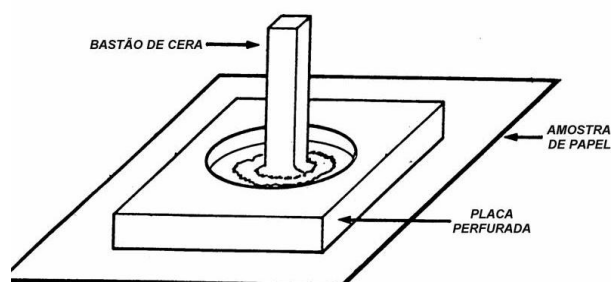


Figura 19.04

19.1.7. Aspereza

Aspereza é o grau de desuniformidade da superfície do papel. Na indústria papelreira, porém, utiliza-se de modo geral esta característica com a denominação de lisura. A lisura é uma importante propriedade para papéis de impressão enquanto que aspereza da superfície é usada em materiais para embalagens que serão usadas manualmente. Como os próprios nomes o dizem, um é oposto do outro. A textura superficial como lisura e aspereza é uma medida da variação dos desvios observados a partir de um plano perfeito. Neste texto, seguindo uma tendência atual, se usará apenas o termo ‘aspereza’, identificando-se uma maior ou menor aspereza em função da maior ou menor variação destes desvios, respectivamente.

Dos métodos de medição de aspereza quais sejam métodos óticos, métodos de fricção, medição de perfil, área de contato ótica, área de contato com a tinta e medidas do fluxo de ar, o método do fluxo de ar é o mais largamente usado tal qual no caso da permeância ao ar. O método mede o volume de ar fluindo em um dado tempo entre uma superfície óticamente plana e a superfície de teste.

Vários aparelhos podem ser usados para a determinação de aspereza, com a finalidade de exprimir, numericamente, a existência de irregularidades na superfície do papel, que possa afetar o seu desempenho e uso final. Cada um deles fornece o resultado diferente entre si, fazendo-se necessário indicar o nome do equipamento utilizado no teste. Um dos mais usados é o Aparelho “Bendtsen”. Este aparelho mede o volume de ar em mililitros, que por minuto escapa entre a superfície do papel e o cabeçote de medição, cujo extremo inferior tem a forma de um anel.

A aspereza é afetada por um número de matérias primas e variáveis de processo. O uso de fibras mais curtas e mais finas reduz a aspereza como faz a adição de pigmentos para carga (enchimento). Parâmetros de fabricação tais como o tipo de tela “Fourdrinier” e feltros de prensas usados, graus de prensagem e calandragem, e o tipo de superfícies dos cilindros secadores, todos afetam a aspereza da folha. Revestimento e impregnação também

influenciam a aspereza. O aumento da refinação, da prensagem, da colagem superficial, do conteúdo de carga mineral e da calandragem diminui a aspereza. O aumento do conteúdo de umidade e do comprimento de fibra aumenta a aspereza.

O papel a ser medido é colocado sobre uma placa de vidro e sobre ele é disposto o cabeçote de medição, que é ligado por meio de uma mangueira a um rotâmetro no qual se faz a leitura imediata do fluxo de ar. Esta leitura é dada em centímetros cúbicos por minuto (cm^3/min). Quanto maior for a desuniformidade da superfície, maior será o volume de ar que passa entre a superfície do papel e o anel, em um determinado período de tempo. Na figura 19.05 aparece um aparelho medidor de lisura do tipo “Beck”.

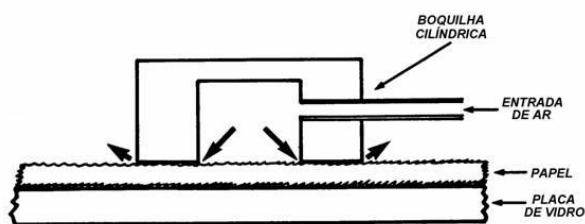


Figura 19.05 (FONTE: Características de los papeles – Casals)

A aspereza influi na aparência e nas qualidades de impressão, no caso dos papéis para *impressão e escrita*. Os papéis “*offset*” e *apergaminhados* são aqueles cujo acabamento é feito em máquina, através de uma calandra e possuem superfície regular, porém, visíveis sob uma lente. A superfície menos áspera é uma qualidade que assegura ótimos resultados de impressão. Já os *papéis revestidos* possuem um acabamento (ou conversão) onde as fibras não são mais visíveis, mas sim uma película de dispersão de pigmento ou de resina. A medição de aspereza para estes papéis é feita com tintas especiais (K&N, microcontorno etc).

Um perfil regular de aspereza é também importante para uma boa qualidade de impressão. Na impressão “*offset*”, devido a flexibilidade da blanqueta de borracha que transfere a tinta da chapa impressora para o papel, é possível imprimir em papéis com a superfície rugosa ou mais áspera.

O *papel “offset”* não necessita ter uma superfície com tão menos aspereza quanto a requerida para a tipografia. No processo de rotogravura, se a superfície do papel é irregular e tem pontos altos e baixos, com substâncias microscópicas, algumas células (alvéolos) não imprimirão uniformemente e a impressão não será de boa qualidade. Para uma tonalidade contínua de reprodução, todas as células devem imprimir. Isso pode ser conseguido pelo uso de compressão. A aspereza do papel é geralmente diferente nas duas faces. Quanto menos áspero for o papel, melhor e mais homogênea será a impressão.

Também para o caso do *papelão corrugado*, uma baixa aspereza (ou alta lisura) pode causar problemas de impressão e de cobertura de tinta, na chapa formadora. O *papel miolo*, assim como o *papel imprensa*, não possui alisamento e apresenta-se rugoso com forte granulação na superfície.

Com respeito ainda aos papéis com superfície com baixa aspereza estão incluídos os *papéis acetinados em única face* ou *monolúcidos*, que são aqueles em que uma das faces é mais brilhante que a outra, por causa da passagem da folha, sob pressão e umidade controlada, contra um cilindro de grande área superficial e polimento superior.

19.1.8. Resistência à tração

Resistência à tração é a força de tensão direta, necessária para arrebentar o papel, quando aplicada longitudinal ou transversalmente. Nos papéis para impressão, fornecidos em folhas, a resistência não é um fator muito importante. Contudo, no papel fornecido em bobina, exige-se que tenha um mínimo de resistência ao rompimento da folha, quando sofre tensão.

A resistência à tração pode ser expressa pela carga de ruptura em quilogramas (kgf), em gramas por milímetro (gf/mm) ou quilonewtons por metro (kN/m). Estas duas últimas unidades resultam da divisão da carga de ruptura pela largura do corpo-de-prova. A resistência à tração pode ser também expressa pelo comprimento de auto-ruptura (km ou m) que é o comprimento necessário para uma fita de papel romper-se devido ao seu próprio peso, quando suspensa em uma de suas extremidades.

A resistência a tração aumenta com o aumento do grau de refino, da prensagem, da colagem superficial, do comprimento da fibra usada e da gramatura diminui com o aumento do conteúdo de umidade. A redução do conteúdo da carga mineral também aumenta a resistência à tração, mas pode diminuir a estabilidade dimensional do papel. Uma boa formação do papel favorece sobremaneira a resistência a tração.

O papel pode também esticar sob pressão sem romper. Esta propriedade de estiramento ou deformação afeta a tendência do papel a resistir a súbitos impactos. Para um dado comprimento de ruptura, aumentando a capacidade de estiramento do papel será aumentada a sua capacidade para absorver energia acima de seu ponto de ruptura. Isto é conhecido como absorção da energia de tensão. O estiramento aumenta com o aumento da refinação da massa e influencia a resistência ao rasgo e ao arrebentamento.

A resistência à tração na direção “Z” mede a resistência das ligações internas dentro dos limites das folhas quando é submetido à tensão esticando perpendicularmente ao plano da folha. Papéis gomados, fitas, e produtos colados, por exemplo, experimentam solicitações na

direção deste tipo e dependem das ligações internas para sua integridade. Cartões multicapas devem ter boas ligações internas entre placas para desempenhar sua função satisfatoriamente.

Muitos diferentes instrumentos estão disponíveis para a medição de tração, sendo os mais apropriados os chamados dinamômetros, os quais aplicam sobre o papel uma força uniformemente crescente, até a ruptura, em condições determinadas de largura e comprimento. Os corpos-de-prova devem ser cortados na direção longitudinal e transversal devido à diferenciação das características do papel em diferentes direções (anisotropia).



Figura 19.06

(FONTE: www.regmed.com.br)

Na figura 19.06 é mostrado o dinamômetro DI-21 da REGMED.

19.1.9. Resistência a úmido

A resistência a tração adquire uma característica própria e distinta quando se considera o papel em situação úmida. Na verdade, se trata exatamente da mesma propriedade que se mede, porém, quando o papel está completamente saturado com água e se costuma expressar como uma relação percentual entre a resistência a tração a úmido e a resistência a tração a seco tal como temos visto anteriormente.

Quando os papéis se umidificam, costumam apresentar uma resistência à tração que oscila entre uns 5 a 50% da que possui no estado seco. Na fabricação de papel, se consegue aumentar a resistência à tração a úmido adicionando-se algumas resinas na massa as quais asseguram as ligações entre as fibras, apesar da presença de água.

A resistência a úmido tem especial importância em alguns tipos de papéis tais como *papel fotográfico, toalhas de papel, sacolas de papel, envólucros de alimentos úmidos, etiquetas, mapas, papéis para filtro* etc.

Para se medir a resistência a úmido, utiliza-se o mesmo equipamento usado para medir resistência a tração, utilizando-se, porém, amostras saturadas com água (retirando-se o excesso de umidade com a utilização de papéis secantes).

19.1.10. Alongamento

Esta característica do papel está muito relacionada com a resistência a tração que foi vista anteriormente e também com a resistência ao arrebentamento que será visto no próximo

item. Na realidade, é uma característica que apresenta o papel antes que se inicie seu rasgo ou seu arrebentamento quando submetido a um esforço. Nem sempre uma maior resistência ao arrebentamento ou a tração supõe um maior alongamento.

O conceito prático de alongamento pode definir-se como a porcentagem de extensão que sofre um determinado papel ao estar submetido a uma tensão gradualmente crescente, no momento em que produz sua ruptura.

É evidente que o alongamento terá valores distintos na direção da fibra em relação aos que se obtém na direção contra a fibra, sendo que estes últimos serão maiores que os primeiros pela maior elasticidade da ligação entre fibras. Por outro lado, a umidade relativa favorece a flexibilidade do papel e, portanto, com seu aumento se obtém um crescimento do alongamento antes da ruptura.

Para avaliar a resistência ao alongamento se realiza exatamente o mesmo ensaio que descrevemos ao falar da resistência a tração. Trata-se, portanto, de medir o alongamento que se produz na amostra de papel ensaiada no momento da ruptura.

19.1.11. T.E.A. (“Tensile Energy Absorption”)

O T.E.A. (“Tensile Energy Absorption”), em português “absorção da energia de tensão”, é o mais importante parâmetro para a *sacaria*, fornecendo uma boa imagem de resistência e qualidade do saco de papel, e foi nele a concentração de esforços e investimentos para a melhoria da qualidade e redução de custos. O principal foi a microcrepagem com o papel extensível. Com o desenvolvimento desta tecnologia, já usada em praticamente todas as produtoras de papel para a sacaria, foi desenvolvido o refino em alta consistência, novas seções de prensagem e túneis de secagem. Com o papel extensível se buscou um papel de maior resistência com valorização dos testes em sentido de máquina. No refino em alta consistência se aperfeiçoou o tratamento da fibra preservando-a e obtendo altos valores nos testes também em sentido transversal a máquina.

O T.E.A. pode ser definido como sendo o trabalho total dado por unidade de área do papel quando forçado até a ruptura (figura 19.07). É a combinação do total de rigidez conseguida através da microcrepagem e da força de tensão a qual demonstra a máxima força que o papel suporta sem quebra. O índice do T.E.A. é a absorção de tensão dividida pela gramatura.

Também definimos a ruptura por tração, à resistência limite de uma amostra de papel, submetida a um esforço crescente e, a elongação, como a deformação máxima que suporta a amostra até romper-se. Normalmente, expressamos a carga de ruptura como N/m e a elongação em %, então a área sob a curva reograma (T.E.A.) será expressa como: $N.m/(m.m) = J/m^2$.

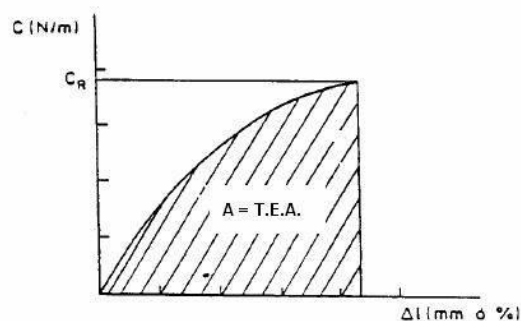


Figura 19.07

(FONTE: Artigo “Técnicas de fabricação de papel para embalagem” – ABCTP)

19.1.12. Resistência ao rasgo interno e inicial

A resistência ao rasgo interno é a quantidade de trabalho necessário para rasgar uma amostra de papel através de uma distância determinada, depois de ter sido iniciado o rasgo na borda. Obviamente, esta propriedade é distinta se levarmos em consideração a direção da fibra ou contra a fibra.

A resistência ao rasgo inicial, também conhecida como resistência ao rasgo nas bordas, difere essencialmente da resistência ao rasgo interno. Neste caso, o esforço que pode produzir a ruptura não é somente a torção, como também o de tração e corte. O agente principal que provoca o rasgo inicial é a aplicação de uma força momentânea do tipo externo cujo efeito depende das tensões de cisalhamento que se encontram presentes, da espessura e da elasticidade do papel.

Mesmo sendo uma característica muito importante, especialmente no que se refere a utilização de papéis em bobina, a resistência ao rasgo inicial na prática tem uma incidência relativamente pequena, principalmente, pela dificuldade de sua medição.

Pode haver consideráveis diferenças entre a resistência ao rasgo interno e a resistência ao rasgo inicial de um papel. O *papel celofane*, por exemplo, tem uma alta resistência ao rasgo inicial e muito baixa resistência interna ao rasgo. A adição de polímeros elastoméricos aumenta o rasgo inicial. Para facilitar o entendimento, na continuidade deste texto se fará referência à resistência ao rasgo como representante do rasgo interno, por ser esta a propriedade mais usada pelos papeleiros.

A resistência ao rasgo é uma boa medida das condições gerais das fibras em sua utilização como matéria prima. Se algo tem dado errado na fábrica de polpa ou na planta de

branqueamento, e a resistência da polpa é reduzida como um resultado disto, o rasgo detectará muitas vezes a mudança de processo.

O controle da resistência ao rasgo é particularmente necessário nos *papéis em bobinas* (que sofrem tensões diferentes), *papéis tissue*, *papéis para embalagem*, *papel moeda* e todos aqueles que sofrem “manuseio” severo como livros e revistas. Convertedores de papéis para obtenção destes produtos dependem, muitas vezes, mais da resistência ao rasgo do que qualquer outra propriedade do papel.

Resistência ao rasgo é usualmente maior quando medida contra a fibra do que a favor da fibra porque mais fibras são alinhadas na direção da máquina do que na direção transversal. O aumento do conteúdo de umidade (até um determinado valor), do comprimento de fibra usada e da gramatura, aumenta a resistência ao rasgo. Com o aumento do grau de refino acima de um determinado valor, da prensagem, do conteúdo de carga mineral e da colagem superficial haverá uma diminuição da resistência ao rasgo.

O principal método usado para avaliar a resistência ao rasgo mede a resistência interna ao rasgo do papel, e é comumente conhecido como o teste de rasgo ou teste Elmendorf, o nome do inventor deste instrumento padrão. Na figura 19.08 são mostrados, da esquerda para a direita um Elmendorf analógico e um digital modelo, ambos do modelo ProTear[®].



Figura 19.08 (FONTE: www.regmed.com.br)

19.1.13. Resistência ao arrebentamento

A resistência ao arrebentamento é definida como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular. Esta propriedade é geralmente um bom indicador da resistência ou da tenacidade do papel, sendo comumente chamado de “Mullen” ou estouro.

Apesar de sua popularidade, não parece haver uma forte correlação entre resistência ao arrebentamento e as exigências de uso final do papel, exceto no caso dos “linerboard” usados por recipientes de embarcação. Para este produto, resistência ao arrebentamento é crítico como um teste de controle na fábrica de papel. Também, no caso de sacos usados para embalagens se considera a resistência ao arrebentamento como uma propriedade importante.

A resistência ao arrebentamento aumenta com a crescente refinação, para decrescer com o excesso desta, por causa do maior número de fibras cortadas neste último caso. As variações na gramatura e espessura causam geralmente variação na resistência ao arrebentamento, assim como o uso de aditivos e colas afeta consideravelmente o comportamento do papel e o resultado do ensaio. A resistência ao arrebentamento aumenta com o aumento da compactação da folha (calandragem), da prensagem, da colagem superficial, do comprimento de fibra usado. Já, o aumento do conteúdo de umidade e de carga mineral, reduzirá a resistência ao arrebentamento.

O teste mais comumente empregado é feito no equipamento “Mullen Tester” (figura 19.09, apresentando um desenho explicativo e o equipamento da REGMED modelo MTA-2000P) que aplica ao papel uma pressão hidráulica uniformemente crescente, mediante um diafragma elástico de área padronizada. A resistência ao arrebentamento é medida pela fixação da amostra, submetendo-a a uma pressão de um dos lados. Isto causa a amostra uma deformação em um hemisfério até a falha ocorrer por ruptura. Usualmente, o resultado é expresso em “lb/pol²” ou “kg/cm²”.

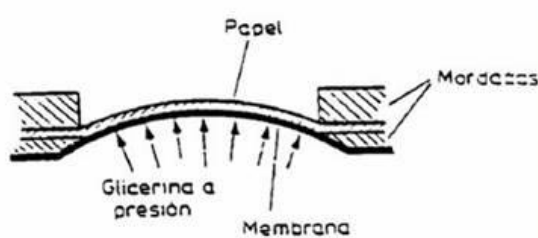


Figura 19.09 (FONTES:Características de los papeles – Casals www.regmed.com.br)

Para o *papelão ondulado*, um valor abaixo da especificação mínima pode resultar na formação de uma chapa que não atinja as especificações do cliente.

19.1.14. Resistência às dobras duplas

Resistência a duplas dobras é o número de duplas dobras (dobras de uma face para outra face) que o papel resiste até sofrer uma quebra. Todos os papéis têm comportamento diferente quanto à resistência mecânica, se a força é aplicada longitudinal ou transversalmente à sua formação. As resistências à tração e as duplas dobras são maiores no sentido longitudinal e menores no sentido transversal. No caso de resistência ao rasgo, como vimos, o comportamento é inverso.

O aumento do conteúdo de umidade (até certo valor), da refinação, da prensagem, da colagem superficial, do comprimento de fibra usada e da gramatura, resultará em aumento no valor de dobras duplas. O aumento do conteúdo de carga mineral reduzirá este valor.

Muitos instrumentos estão disponíveis para medição de dobras duplas. Em cada teste, se medirá como resultado do teste o número de duplas dobras que a amostra suportará antes da ruptura.

Os exemplos típicos de *papéis* que devem ter alta resistência a duplas dobras são aqueles usados para confecção de *dinheiro, mapas e cartas náuticas*.

Quando um papel devido ao seu uso final solicita repetidas dobras, como no caso de *papéis apergaminhados* e *papéis moeda*, um teste de dobras duplas é aplicável. Este teste mede uma combinação de resistência à tração, alongação, flexibilidade, resistência a compressão e outros esforços e tensões de corte.

19.1.15. Porosidade

Muito do ar no papel reside nos poros na estrutura da folha enquanto o restante está presente no interior das fibras. A relação percentual entre o somatório dos volumes dos poros em relação ao volume total de uma folha é chamada de porosidade da folha. A porosidade é ocasionalmente utilizada em estudos de laboratórios ao passo que uma propriedade relativa, permeância ao ar, é que é frequentemente utilizada em ambientes industriais.

A permeância ao ar é definida como a propriedade do papel que permite fluir através da folha um fluxo de ar sob uma diferença de pressão conhecida. Não se devem confundir os termos porosidade (fração de espaços vazios) com permeância ao ar (capacidade de ser atravessada pelo ar), ainda que, geralmente, um papel muito poroso será também bastante permeável.

Não se deve também confundir porosidade com absorvência. A porosidade se refere a todo o corpo do papel enquanto que absorvência depende fundamentalmente de sua estrutura superficial.

Outro termo normalmente usado é resistência ao ar, que é o inverso da permeância ao ar. A porosidade é dada em percentual (%) e a permeância ao ar é dada em mililitros por segundo (ml/s) ou micrometros por Pascal.segundo $\{\mu\text{m}/(\text{Pa}\cdot\text{s})\}$ e a resistência ao ar é medida em segundos por 100 mililitros (s/100 ml).

Os aparelhos que medem a permeância ao ar são chamados porosímetros (prova de que os dois termos porosidade e permeância ao ar são usados às vezes com o mesmo significado). Existem vários tipos de porosímetros como, por exemplo, os equipamentos denominados por “Schopper”, “Bendtsen”, “Sheffield”, “Gurley”, “Bekk”, “Vaso de Mariotte”, etc., mas, todos eles funcionam baseados no mesmo princípio: induzir a passagem de ar através do papel e medir esta passagem.

A diferença básica é que, os três primeiros equipamentos, por exemplo, permitem determinar o volume de ar que atravessa a superfície do papel, enquanto que o “Gurley” mede o tempo (em segundos) necessário para que um volume de ar passe através de uma determinada superfície do papel. Devido a isto, todas as vezes que falamos de um valor de permeância ao ar, devemos mencionar o tipo de aparelho usado para a medição.

No “Gurley” (figura 19.10) a passagem de ar através do papel é provocada pelo deslizamento livre de um cilindro interno, graduado em cm^2 , em um cilindro externo contendo óleo mineral. O resultado é dado por um cronômetro com a finalidade de medir o tempo em segundos gastos para um determinado volume de ar. Normalmente o volume fixado é de 100 cm^3 (100 ml), mas se o papel oferece grande resistência à passagem do ar, pode-se fixar um volume menor (50 cm^3 , por exemplo) e se a resistência for pequena fixa-se um volume maior (300 cm^3 , por exemplo).

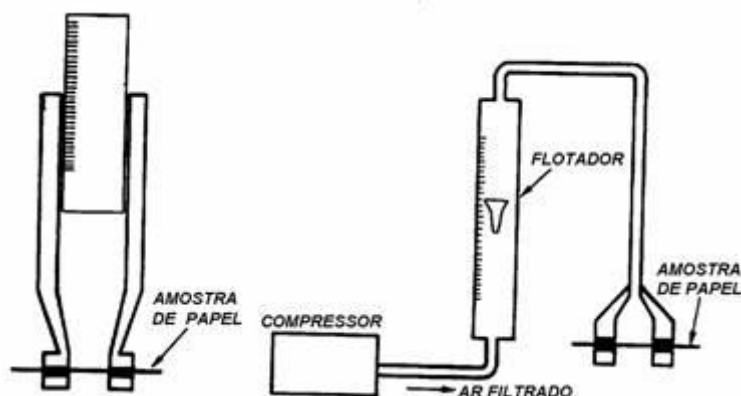


Figura 19.10 (FONTES: Características de los papeles – Casals)

O aumento do comprimento de fibra usada aumenta a permeância ao ar, enquanto que o aumento do conteúdo de umidade, da refinação, da prensagem, da colagem superficial, da

calandragem, da gramatura e do conteúdo de carga mineral diminui a permeância ao ar. A permeância ao ar é uma consequência, principalmente do grau de refinação e das fibras que compõem o papel, mas vários outros fatores também podem influenciar os seus resultados, tais como: distribuição de fibras, densidade, teor de carga, prensagem, calandragem, etc.

O controle da permeância ao ar pode ser usado como um meio de indicação de resistência mecânica, grau de absorção e também como um fim em função da utilização do papel, como os destinados a filtro, onde ela indica o poder de filtração.

Os papéis para *impressão e escrita* com alta permeância ao ar são normalmente chamados de macroporosos ou “abertos” e se caracterizam pelo alto consumo de tinta durante a impressão, enquanto que no caso inverso são chamados de microporosos ou “fechados” e podem causar repinte após terem sido impressos, pois influem também no tempo de secagem das tintas pastosas. Por outro lado, porém, papéis com alta permeância ao ar podem resultar em problemas na alimentação da folha de papel em máquinas com respeito as chamadas ventosas de sucção (chupetas). Esta sucção em algumas máquinas pode ser regulada, mas quando a permeância ao ar varia de folha para folha, ou numa mesma folha, as consequências podem ser desastrosas.

As operações de revestimento (“coating”) e impregnação (“saturating”) reduzem a permeância ao ar do papel. Os papéis “couché” por ter baixa permeância ao ar podem apresentar problemas se se imprime em bobina com secagem por calor, pois o vapor d’água gerado pela umidade interior não podendo atravessar a camada de revestimento, produzirá bolhas superficiais.

Para o *papelão corrugado*, um valor baixo de “Gurley” afeta o funcionamento dos equipamentos que utilizam vácuo para segurar a chapa; um valor “Gurley” alto retarda a absorção da tinta, diminuindo a velocidade de impressão das caixas.

A permeância ao ar é importante para o desempenho de uso final de muitos papéis. Por exemplo, *papéis para sacos*, *papéis “tissue”* e *papéis filtro* requerem alta permeância ao ar, enquanto que *papéis a prova de gorduras (“grease-proof”)* devem ter baixa permeância ao ar.

19.1.16. Absorção de água

É a resistência à penetração de água. A colagem é importante nos papéis para impressão “offset”, flexografia ou outros novos processos produtivos, onde a água se faz presente. Em outras palavras, a colagem é muito importante para papéis que terão de entrar em contato com algum líquido.

Há várias maneiras de se medir a colagem, como por exemplo: teste de “Cobb”, ensaio de “Carson”, “Klemm”, Hércules, ensaio da pena (colagem à tinta ou processo de riscos), ângulo de contato e imersão em água.

No teste de “Cobb”, que é o ensaio mais popular no meio papeleiro, corta-se e pesa-se uma folha de papel. Coloca-se a folha em contato com um líquido (água, por exemplo), usando-se o aparelho “Cobb”, por um tempo determinado (1 minuto). Eliminando-se o excesso do líquido sobre a folha, e pesa-se a folha outra vez. A diferença de peso é a quantidade do líquido que foi absorvido pelo papel. Os resultados são extrapolados para 1 (um) m² e dados em g/m², o que significa a quantidade em gramas do líquido que foi absorvido por um metro quadrado do papel. A figura 19.11 apresenta o equipamento de medição de “Cobb” da REGMED.

Para cada uso final, o papel deve ter uma faixa de colagem. Para exemplificar, vamos citar os *papéis para impressão e escrita*, que não podem ser pouco colados, pois os caracteres impressos sairiam borrados (excesso de ganho de ponto), e também não podem ser demasiadamente colados, pois, dificultaria a secagem da tinta, provocando sujeira e borrões.



Figura 19.11 (FONTE: www.regmed.com.br)

Para o *papelão ondulado*, o cartão com pouca colagem pode absorver a água da cola utilizada para unir o miolo ao cartão, acusando uma fraca colagem; o cartão com alta colagem pode inibir a penetração da cola, resultando em uma fraca colagem; a absorção rápida da água da tinta resulta na variação da tonalidade.

19.1.17. Direcionalidade

Os termos direção de máquina (em inglês: “Machine Direction” - MD) e direção da fibra são definidos como a direção do papel paralela a direção de movimento da tela na máquina de papel, enquanto que a direção perpendicular a direção da fibra é denominada direção transversal ou direção transversal da fibra (em inglês: “Cross Direction” - CD).

O sentido das fibras é importante para impressão a várias cores. Geralmente o sentido longitudinal das fibras é paralelo à dimensão maior da folha. O alinhamento preferencial das fibras na direção da máquina dá ascensão a direcionalidade. Isto significa que uma dada

propriedade pode ter diferentes valores quando medidos em duas direções a ângulos retos em relação a cada outro na folha (anisotropia).

Ocorrem alguns efeitos do alinhamento das fibras sobre as propriedades do papel como, por exemplo, na direção longitudinal as dobras duplas, a rigidez, a estabilidade dimensional e a resistência à tração são maiores do que na direção transversal, enquanto que a resistência ao rasgo é menor. O papel também se expande e se contrai mais no sentido transversal que no sentido longitudinal quando sofre o efeito da variação da umidade e, em função disto, o encanoamento apresenta seu eixo paralelo à direção longitudinal, assim como, no caso das ondulações, o eixo maior das elipses é paralelo à direção longitudinal.

Os testes práticos (figura 19.12) para identificação dos sentidos longitudinal e transversal são baseados no fato de que as fibras do papel estão mais dirigidas no sentido longitudinal do que no sentido transversal e podem ser descritos das seguintes formas:

- Passar a unha do dedo polegar nas bordas da folha de papel, pressionando-a contra o dedo indicador. O lado paralelo ao sentido transversal apresentará ondulações mais nítidas e abundantes;
- Dobrar a folha de papel de maneira paralela a uma das beiradas e fazer um vinco pressionando levemente o dedo indicador e o polegar. Repetir a operação, fazendo um vinco perpendicular ao primeiro. O vinco feito no sentido transversal apresentará estrias e quebrados mais nítidos e abundantes;
- Cortar uma folha quadrada de papel e fazê-la flutuar na água. Esta folha se curvará e o eixo da curvatura será paralelo ao sentido longitudinal do papel.

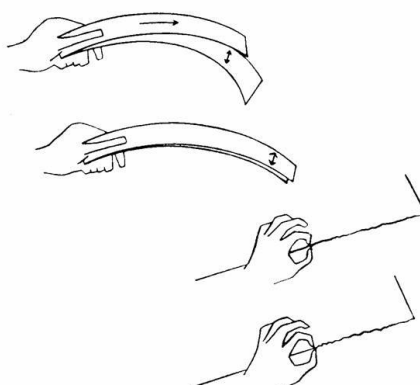


Figura 19.12 (FONTE: Características de los papeles – Casals)

A direcionalidade influencia muitas propriedades mecânicas do papel, e esta influência pode ser usada para produzir produtos específicos. Por exemplo, a alta rigidez na direção da

máquina é usada no projeto de pastas suspensas para arquivos e algumas embalagens. Muitas propriedades do papel podem ser usadas para distinguir direção da máquina da direção transversal.

Todo o uso final de *papéis*, *cartões* e *papéis especiais* foi desenvolvido com base no conhecimento desta característica, assim os livros devem ter a lombada paralela à direção longitudinal ou rótulos devem ter a direção longitudinal paralela à altura do vazilhame.

Os papéis para *impressão e escrita* e os *cartões duplex e triplex* fornecem dois exemplos bastante ilustrativos sobre a importância do conhecimento da orientação de fibras. No primeiro caso, para limitar as deformações da folha, os impressores introduzem as mesmas nas máquinas de modo que as fibras fiquem em paralelo ao eixo dos cilindros, o que equivale a dispor a direção das fibras paralela ao lado maior da folha. Deste modo, as maiores alterações de dimensão ocorrerão no sentido de passagem da folha pela zona de pressão, sendo então possível compensá-las variando-se a relação dos diâmetros dos cilindros na máquina “offset”. Esta correção não pode ser feita na direção perpendicular ao eixo do cilindro. Outra consideração que se deve levar em conta é a possibilidade de se formarem ondulações na folha de papel, ou seja, se a mesma entra corretamente na impressora, as ondulações causarão menores inconvenientes já que a folha ao passar entre os cilindros pode anular as ditas ondulações se não forem muito pronunciadas (figura 19.13).



Figura 19.13 (FONTE: Características de los papeles – Casals)

No caso dos *cartões*, como o seu destino sempre será a operação de corte e vinco, o projeto da embalagem deverá levar em conta qual a direção em que o corte deverá ter resistência a sua continuidade (ou seja, a própria definição de resistência ao rasgo) e em qual dimensão deverá o cartão sofrer uma vincagem estável (o contrário seria o efeito mola, o qual tenta desfazer a dobra produzida pelo vinco (figura 19.14). Normalmente, obtém-se maior eficiência com o corte e vinco que são realizados no sentido longitudinal.

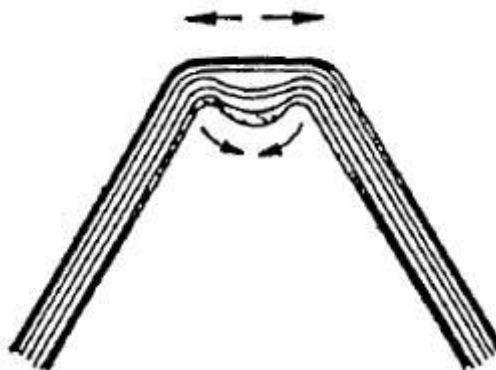


Figura 19.14 (FONTE: Caracterização dos produtos – ABTCP)

19.1.18. Cor, brancura e alvura

Pode-se dizer que a cor é tão somente uma qualificação objetiva como parte da percepção visual do ser humano. Uma das características importantes do olho humano é a sua capacidade de distinguir radiações eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda, ou seja, distinguir cromacidade. Além disso, o olho humano distingue, até certo ponto, a intensidade relativa dessas radiações. A luz incidente nos objetos é refletida até nós em forma mais ou menos parcial, não somente de maneira quantitativa como também qualitativa.

A cor dos papéis depende do observador e de diversos fatores, tais como distribuição da energia espectral de iluminação, ângulo de iluminação e observação, e características ópticas do papel. A medição da cor pode ser realizada espectrofotometricamente ou colorimetricamente.

No método espectrofotométrico as leituras das amostras são feitas em cada um dos comprimentos de onda ao longo de todo o espectro visível. Com os dados obtidos, constrói-se um gráfico que indica em porcentagem para os diversos comprimentos de onda, a intensidade da luz refletida pela amostra. Já o método colorimétrico baseia-se no princípio de que por meio de três cores primárias é possível formar as demais cores. O sistema CIE (“Commission Internationale de L’Eclairage”) fixa três cores fundamentais, fictícias, que permite compor todas as outras cores.

A cor desejada do papel se obtém mediante a ação de pigmentos ou corantes que absorvem os comprimentos complementares de onda. Todos eles tendo em conta a cor natural da pasta de papel. A própria brancura do papel constitui uma qualidade concreta de cor, isto é pode ser determinada pelo método colorimétrico, por exemplo.

Sabemos que a luz branca é composta por todos os comprimentos de onda do espectro visível; em outras palavras, entre 400 e 700 nanômetros ($\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Uma superfície de cor

branca perfeita não absorveria luz de nenhum comprimento de onda e refletiria totalmente todas as cores, em outras palavras, a curva de reflectância espectral deveria coincidir com a da emitância.

Desta forma, se as características de uma superfície são tais que absorve parte do espectro da luz incidente, a luz refletida não será totalmente branca, mas sim composta por cores correspondentes aos comprimentos de onda não absorvidas. A superfície atua, portanto, como um tipo de filtro e a cor que aparenta ter é precisamente a complementar do que absorve. A brancura do papel deriva da total reflectância da luz branca e, mais importante, na uniformidade da reflectância a todos os comprimentos de onda (reflectância espectral).

Em geral, há a tendência de se associar a brancura com uma ausência de amarelo ou uma presença de azul, uma vez que o olho humano a identifica desta forma. Por esta razão, ao fabricar papel, normalmente se adiciona corantes e tinta fluorescente, também conhecida como alvejante ótico. Tintas fluorescentes absorvem luz na faixa ultravioleta do espectro e a reemitem na região azul do espectro, dando um efeito fluorescente que neutraliza o amarelo inerente da fibra e apresenta um resultado mais branco para o observador humano.

Os pigmentos de carga mineral usada no papel também têm uma influência sobre a brancura do papel, assim como matizantes e pigmentos coloridos, brancura da polpa e impurezas da água. Papel com colagem ácida utiliza caulim como pigmento de carga, reduzindo a brancura, pois a celulose normalmente tem uma brancura insatisfatória. A utilização de carbonato de cálcio como pigmento de carga na colagem alcalina favorece a melhoria da brancura.

Confunde-se muito a brancura com alvura que é o fator de reflectância difusa intrínseca medida a um comprimento de onda de 457 nm (figura 19.15). Na verdade, não existe uma definição satisfatória de brancura. Alguns autores a descrevem como uma alta e uniforme reflectância do papel a todos os comprimentos de onda do espectro visível, como havíamos visto antes. Outros, simplesmente, como um equilíbrio de cor com alta reflectância. Um papel de tonalidade cinza, por exemplo, apresenta um equilíbrio de cor, porém não apresenta uma alta reflectância.

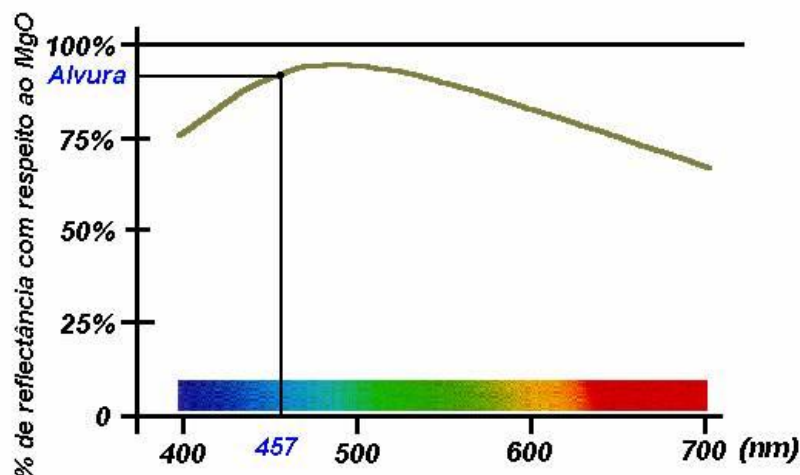


Figura 19.15 (FONTE: montagem de E.S.Campos)

Existe, porém uma definição para nível de branco, que pode ser medido em CIE ou “Stensby”, por exemplo, resultando da função de três coordenadas: L, a e b, onde “L” é a luminosidade, “a” á tonalidade no eixo vermelho-verde e “b” é a tonalidade no eixo amarelo-azul. Utiliza-se para estas medições o aparelho denominado espectrofotômetro. Já a unidade de alvura é dada por % ISO e os aparelhos utilizados para seu ensaio podem ser o “Photovolt”, “Elrepho” (nomes comerciais) ou o próprio espectrofotômetro (o mais conhecido é o da “Datacolor”). Nas figuras abaixo (19.16 e 19.17), é mostrado este sistema de coordenadas e exemplos de curvas fotométricas de distintos papéis coloridos.

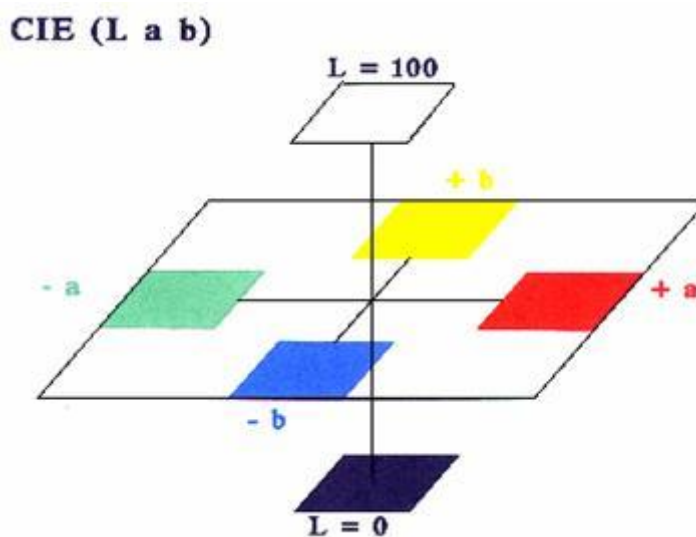


Figura 19.16 (FONTE: National / ABTCP)

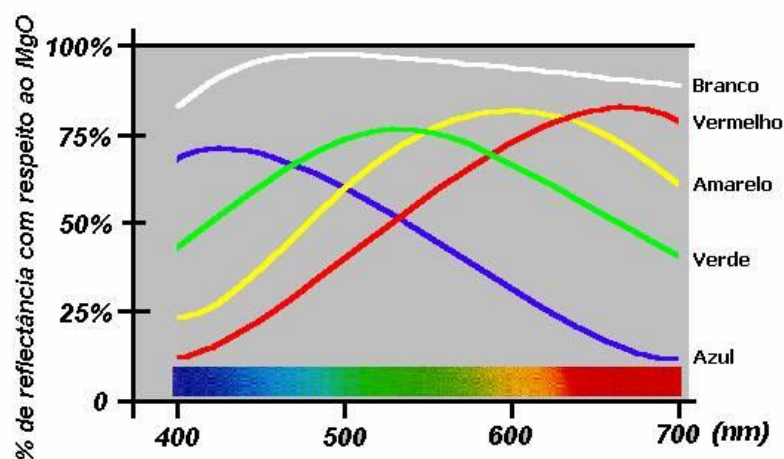


Figura 19.17 (FONTE: National / ABTCP)

No caso do papelão ondulado, as variações da alvura comprometem a impressão nas caixas, através da variação da tonalidade da tinta.

19.1.19. Opacidade

Opacidade é a propriedade relacionada com a quantidade de luz transmitida através do papel, em outras palavras, é a capacidade do papel de dificultar a passagem de luz através de si mesmo. Assim, um papel perfeitamente opaco é aquele que não permite a passagem de luz visível. A reflexão da luz determina as características do papel descritas até agora, como a cor, brancura e alvura. Porém nem toda a luz se reflete na superfície uma vez que parte dela penetra no papel.

Como sabemos, o papel é constituído por vários elementos, porém na maioria são fibras de celulose e ar. Sabemos que um raio de luz, ao passar de um meio a outro se desvia, quer dizer se refrata. A luz incidente, que em lugar de refletir-se penetra no papel, vai se refratando em cada passo da celulose ao ar e do ar a celulose ser absorvida totalmente no interior da folha (luz absorvida convertendo-se em energia térmica) ou sair por um lado oposto da mesma (luz transmitida). A proporção de luz que atravessa toda a espessura do papel constitui o grau de transparência que é a propriedade totalmente inversa da opacidade (figura 19.18).

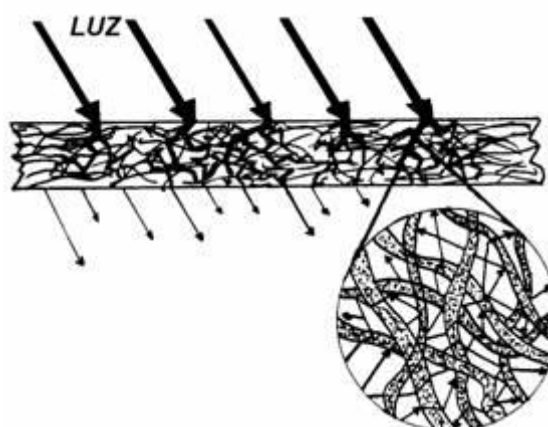


Figura 19.18 (FONTE: Características de los papeles – Casals)

A presença de outros elementos além das fibras, tais como cargas, pigmentos, etc., constitui uma série de dificuldades suplementares a passagem da luz e, portanto, incrementa a opacidade. As próprias fibras se apresentam maior coloração, absorvem uma maior quantidade de luz e aumentam a opacidade. O dióxido de titânio, por exemplo, se emprega como aditivo para elevar o grau de opacidade nos papéis tipo Bíblia, por exemplo, por suas especiais características.

Opticamente, se obtém a máxima opacidade quando a luz que não é refletida na superfície se reflete e refrata no interior do papel sem chegar a sair pelo lado oposto. Parece que a melhor proporção entre fibras de celulose e ar para uma boa opacidade é a de volumes iguais em ambos os meios. Se o percentual de participação de celulose é aumentado, perde-se heterogeneidade óptica e volta a decrescer a opacidade.

Ao nível prático, podemos também definir a opacidade de um papel como a possibilidade de ocultar a impressão existente no lado posterior ou na folha seguinte com a que está em contato. Não obstante, no primeiro caso deve ter-se em conta a possível penetração da tinta no papel que também possibilita à visão de imagem a partir do lado oposto.

Em função disto, a opacidade é uma importante propriedade em papéis de escrever, impressão, cigarro, etc. Os papéis do tipo Bíblia são um exemplo típico de papéis que requerem boa opacidade, mesmo sendo de baixa gramatura, porque o leitor não deseja, ao estar lendo uma página, ter dificuldade de leitura pelo que está impresso no outro lado da folha. Livros de exercícios com figuras, palavras cruzadas, etc, para crianças também devem ter boa opacidade, porque estas encontram dificuldade de distinguir qual é o assunto que tem

de ser trabalhado. No caso dos papéis finos pode-se também sacrificar um pouco a alvura com intuito de ganhar opacidade.

Uma opacidade menor reduz o contraste de impressão, que resultará pouco uniforme. Em geral os papéis coloridos são mais opacos que os brancos. Inclusive dentro da gama de papéis brancos, os de tendência azul, verde ou cinza têm mais opacidade que os de tonalidade amarela ou rosada. Os primeiros possuem uma maior absorção de luz que os últimos.

O aumento da gramatura e do conteúdo de carga mineral aumenta a opacidade, enquanto que o aumento da refinação, da calandragem, da prensagem, da colagem superficial, do comprimento de fibra usada, diminuirá a opacidade. Os papéis porosos e pouco densos são mais opacos que os papéis muito calandrados, já que neste último caso as fibras se encontram muito próximas umas a outras e a luz se transmite melhor. Posto que as fibras de celulose totalmente puras são transparentes, a refinação durante a fabricação do papel tende a reduzir a opacidade do mesmo. Em igualdade de condições, os papéis “couché” apresentam mais opacidade pela barreira constituída pelo revestimento superficial que reduz muito a luz transmitida.

Os papéis menos opacos são, portanto, aqueles cuja pasta se tem refinado muito, não contém cargas, não levam produtos que favoreçam a opacidade, não são “*couché*” e se tem calandrado muito. Se ainda se quer reduzir mais a opacidade, pode-se adicionar ceras ou óleos, com o que se suprimem os interstícios entre fibras e se incrementa a proporção de luz transmitida em forma retilínea.

O aparelho que mede opacidade é o opacímetro, o qual indica a relação percentual da opacidade do papel comparada a um padrão. Em poucas palavras, o aparelho é constituído de uma fonte de luz que incide sobre o papel e de uma célula fotoelétrica que mede a luz refletida. A medição da opacidade é dada em percentual (%). Existem vários tipos de opacímetros como o “Elrepho” e o “Datacolor”, por exemplo.

19.1.20. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional também chamada higroestabilidade dimensional, consiste na faculdade que apresentam os papéis no que diz respeito a manter suas dimensões originais ao alterar suas condições ambientais (temperatura e teor de umidade, principalmente) e os esforços a que são submetidos durante a impressão e manuseio. A análise desta propriedade do papel resulta relativamente complicado, posto que não existe nenhum papel completamente estável.

O termo higroexpansividade (ou instabilidade dimensional) se refere à propriedade contrária a estabilidade dimensional. Define-se como a porcentagem de dilatação que se produz ao variar o conteúdo de umidade, indicando uma séria tendência a problemas de impressão como: perda de registro, corte e vinco, relevo, ondulamento, encanoamento, deformações, etc. A causa mais importante das mudanças dimensionais é a variação do conteúdo de umidade frente à umidade relativa do ambiente pelo fato do papel ser higroscópico (ávido por água). Uma vez que esta varia por muitos motivos, as precauções a tomar deverão contemplar também muitos aspectos.

A base da instabilidade dimensional se encontra nas próprias fibras do papel. Ao nível individual, as fibras se incham ao absorver umidade e o fazem em maior grau no sentido transversal do que no sentido máquina. Disto se deduz que o papel apresentará maior mudança dimensional na direção contra a fibra do que na direção da fibra. Ao mesmo tempo, se pode deduzir facilmente que segundo a constituição das fibras (e, portanto, a classe de papel), as mudanças dimensionais serão maiores ou menores.

A parede da fibra é organizada de forma tal que o inchamento lateral é cerca de quinze à vinte vezes maior que o inchamento longitudinal, o qual causa variações dimensionais no papel (em torno de 1% a 4% no sentido contra a fibra. O inchamento aumenta a flexibilidade da fibra e enfraquece as ligações fibra a fibra. O relaxamento das tensões internas no papel com o aumento do conteúdo de umidade, junto com o inchamento das fibras produzem mudanças na dimensões do papel resultando em alargamento da folha no sentido contra a fibra, encanoamento, pés de galinha e ondulamento.

Além destes fatores citados, a falta de estabilidade dimensional pode também acarretar problemas de deformação na folha. Com efeito, se não existe um equilíbrio de umidade na mesma folha de papel, algumas zonas da mesma tenderão a possuir uma longitude distinta à de outras zonas com conteúdo de umidade diferente e isto dará lugar aos conhecidos problemas de beiradas frouxas (ou moles) e parte central apertada, ou parte central frouxa e beirada apertada. A maioria dos problemas de rugas do papel procede desta causa.

Essas variações são dependentes de uma série enorme de variáveis, tais como refinação, qualidade de fibras, tratamento a que o papel é submetido na máquina de papel, secagem, tracionamento, etc. Estas mudanças são menores no sentido da fibra (direção de fabricação) do que contra a fibra. Com efeito, quanto menos refinado seja o papel e mais alta sua permeância ao ar menos mudanças dimensionais apresentará frente as variações em seu conteúdo de umidade.

Não obstante, se tenta conseguir a estabilidade dimensional incorporando materiais de carga mineral (praticamente insensíveis as alterações de umidade), melhorando a formação, aumentando a umidade do papel na enroladeira, aumentando o corpo do papel (menor calandragem) e melhorando a colagem interna, já que se precisam refinar as fibras para melhorar outras propriedades do papel tais como resistência a tração, ao arrancamento superficial ou a formação de bolhas. Desta forma se tenta melhorar, de forma paralela, o maior número possível de propriedades do papel.

Outra causa da variação dimensional é o esforço de tensão que pode ocorrer principalmente durante a secagem do papel ou durante o processo de impressão. Todos os papéis são, em mais ou menos grau, viscoelásticos. Isto quer dizer que, todos se dilatam até um determinado ponto quando são submetidos a uma tensão e depois voltam a seu tamanho original. Se o esforço é superior ao limite, parte da deformação adquirida se converte em permanente apesar de cessar a causa.

É evidente que as mudanças nas dimensões do papel podem acarretar problemas ao imprimir várias cores sobre o mesmo suporte ou nas operações de encadernação. Se o papel se dilata ou se encolhe entre uma impressão e outra será praticamente impossível obter um bom registro. Este problema, denominado perda de registro, se reduz quando em uma mesma passada pela máquina se imprimem todas as cores sem dar tempo para que as alterações dimensionais tenham lugar.

Além de trabalhos em cor, podemos citar também os formulários contínuos como exemplo de impressos que apresentam problemas quanto sofrem alterações dimensionais, principalmente, com respeito às furações laterais (remalina). Igualmente, quando se trata de formas múltiplas, a coincidência da imagem nas diversas cópias deve ser perfeita para evitar problemas posteriores.

Quando estabilidade e planura são exigidas, normalmente o papel é aclimatizado na fábrica e posteriormente nas gráficas, muitas das quais, inclusive possuem equipamentos específicos, que proporcionam o equilíbrio entre o teor de umidade do papel e do ambiente. As dimensões de um papel, pouco variam quando o mesmo está num ambiente de 40 a 60% de umidade relativa, com temperatura em torno de 20 °C correspondendo a um teor de umidade no papel de 5 a 7%.

Existem basicamente dois métodos para a determinação da estabilidade dimensional. Um deles, de resposta mais rápida e em aplicação em artes gráficas, se conhece com o nome de “sistema de imersão em água”. O outro, mais lento e científico, e, portanto, mais apto a laboratórios especializados, se conhece sob a denominação de “sistema de diversos estados

higrométricos”, o qual é realizado prendendo-se uma fita de papel no interior de uma câmara, onde se provoca uma variação no teor de umidade relativa do ar ambiente, a uma temperatura constante, retirando-se depois a fita, para constatar a expansão ou contração verificada.

A fibra tem um tubo central oco chamado lúmen, e as paredes da fibra têm espaços disponíveis para moléculas de água. A absorção de moléculas de água pela fibra faz com que a fibra sofra um processo de inchamento.

19.1.21. Maciez

A maciez possui definições que dependem da aplicação final do papel. No caso de *papéis para impressão e escrita*, a maciez está relacionada com a compressibilidade que é a redução de espessura que o papel apresenta quando submetido a uma força de compressão interna.

No caso dos *papéis “tissue”* há duas formas de maciez: de superfície e de corpo. A maciez de superfície pode ser conseguida pela calandragem. A maciez de corpo pode ser obtida através de uma adesão uniforme ao “Yankee”, o que produz uma crepagem apertada e ainda uma boa separação das ligações da fibra.

19.1.22. Capacidade de empilhamento

O ensaio de compressão mais difundido é o de RCT (“Ring Crush Test”) feito tanto para o miolo quanto para a ou as capas; é definido como sendo a força necessária para que a amostra seja esmagada, através do deslocamento vertical da parte móvel da prensa sobre a parte estacionária. O resultado é expresso em “kN/m”. Outro teste utilizado é o SCT (“Short Span Compression Test”) que é definido como a força necessária para que a amostra seja comprimida através do deslocamento horizontal das barras. Estes dois ensaios guardam estreita relação com a quantidade máxima permitida de empilhamento das caixas.

A resistência à compressão (RCT) é hoje a mais importante para avaliação da qualidade de um papel para a confecção de chapas de papelão ondulado, pois, está diretamente relacionada com a resistência à compressão de canto da chapa de papel ondulado, avaliada através do “Edge Crush Test” (ECT) que, por sua vez, definirá a resistência ao empilhamento das caixas de papel ondulado, avaliada pelo “Box Compression Test” (BCT).

Para os papéis de embalagem que normalmente apresentam espessura entre 0,2 e 0,5 mm, a altura dos corpos de prova deveria ser de 1,7 a 4,3 mm para trabalhar na faixa de máxima resistência de compressão.

Devido a isto na maioria dos ensaios de compressão dota-se o corpo de prova de uma forma ondulada ou circular para reduzir os efeitos de flexão ou arqueamento associados à compressão, conforme mostra a figura 19.22 abaixo.

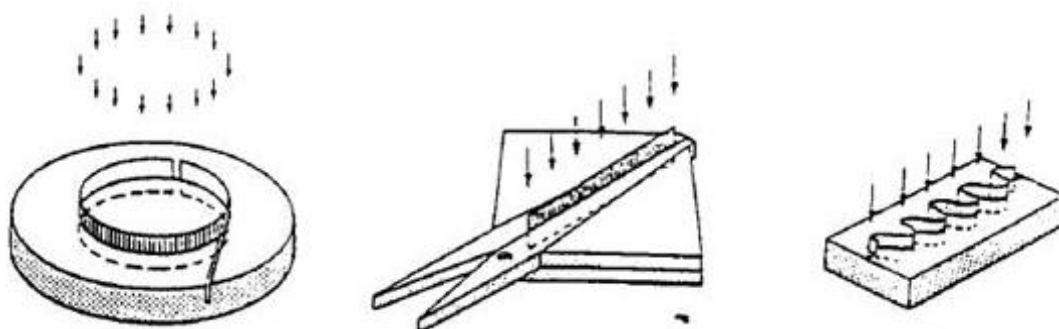


Figura 19.19 (FONTE: Caracterização dos produtos)

O inconveniente deste teste está no fato do papel estar em forma de anel que é uma condição diferente de sua função estrutural no papelão ondulado. Também em gramaturas maiores que 300 g/m^2 ao curvamos o papel podemos enrugá-lo falseando o resultado. Este ensaio correlaciona-se com o ECT.

Para o *papelão corrugado*, um valor baixo de compressão no cartão pode comprometer as recomendações de empilhamento das caixas.

19.1.23. Outras características físicas do papel

Obviamente há muitas outras características físicas do papel, incluindo os papéis especiais. Entretanto, neste curso foram abordadas as mais importantes do setor papelero relacionadas aos objetivos do curso.

19.2. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS PARA OS DIFERENTES TIPOS DE PAPÉIS

A tabela 19.01 abaixo mostra as principais propriedades dos papéis em geral e a importância de cada propriedade para o tipo de papel considerado. Estes níveis de importância estão identificados como:

Grande importância (Propriedades que caracteriza o papel: especificações)	
Média importância (É importante como propriedade adicional)	
Pequena importância (Pode ser dispensada como análise)	

Propriedades / Tipos de papéis	Papel para impressão e escrita	Papel imprensa	“Tissue” (sanitários)	Papéis “kraft” para embalagens	Papelão corrugado	Papéis para sacaria	Cartões
Gramatura							
Espessura							
Volume específico (“bulk”)							
Umidade							
Formação							
Orientação de fibras							
Dupla face							
Porosidade							
Lisura							
Arrancamento superficial							
Resistência à tração							
Alongamento							
Resistência ao rasgo							
T.E.A.							
Resistência às dobras							
Resistência ao estouro							
Rigidez							
Teor de cinzas							
pH e acidez							
Permanência							
Cor							
Alvura							
Brilho							
Estabilidade dimensional							
Maciez							
Resistência a úmido							
RCT							
Cancora (CMT)							
Resistência à água							
Resistência à delaminação							
Coefficiente de fricção							
Resistência a compr. de canto							
Resistência à vincagem							

Tabela 19.01 (FONTE: Montagem de E.S.Campos)

19.3. ALGUMAS NORMAS PARA ANÁLISES LABORATORIAIS – PAPEL KRAFT

Segue uma relação de algumas normas ABNT para as análises de processo e produto dos papéis “kraft”:

PROCESSO:

ABNT NBR 14031:2004 – Pastas celulósicas – Determinação da resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler.

ABNT NBR 14003:1997 – Pastas celulósicas – Determinação da consistência.

PRODUTO:

ABNT NBR NM-ISO 536:2000 – Papel e cartão – Determinação da gramatura.

ABNT NBR 6738:2001 – Papelão ondulado – Determinação da espessura.

ABNT NBR NM-ISO 535:1999 – Papel e cartão – Determinação da capacidade de absorção de água (Método Cobb).

ABNT NBR NM-ISO 1924-2:2001 – Papel e cartão – Determinação das propriedades de tração – Parte 2: Método da velocidade constante de alongamento.

ABNT NBR NM-ISO 1974:2001 – Papel – Determinação da resistência ao rasgo – Método Elmendorf.

ABNT NBR NM 105:1999 – Papel e cartão – Determinação da umidade – Método por secagem em estufa.

ABNT NBR 11940:2002 – Papel e cartão – Determinação da higroexpansividade até umidade relativa máxima de 68%.

ABNT NBR 14260:2005 – Papel e cartão – Determinação da resistência ao esmagamento do anel (RCT).

ABNT NBR NM-ISO 5636-5:2006 – Papel e cartão – Determinação da permeância e resistência ao ar (faixa média) – Parte 5: Método Gurley.

ABNT NBR NM-ISO 02759:2007 – Cartão – Determinação da resistência ao arrebentamento.

BIBLIOGRAFIA

- _. Filtros húmedos: maior sequeza – finura do papel. *El Papel*, dezembro-enero, 1991/2, pg. 37-40.
- __. Fundamentos de operação de máquinas de papel (guía de estudio). TAPPI, s.d.
- __. Preparación y refino de pastas. Universidad Politécnica de Barcelona. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa. Cátedra de tecnologia papelera/CIPAGRAF, s.d.
- __. Curso de fabricação de papel tissue. Hércules, 2007.
- __. El proceso de fabricación de papel. *El Papel* 128, Octubre 2006, pg. 78-81.

- ALBISU, J. M^a; ALBISU, R. El tratamiento de aguas en la industria papelera. Krofta Ibérica. El Papel, Febrero/Marzo, 1993.
- ANDRIONI, J. L. Fabricação de Papel – Formação da Folha. Curitiba, 2006. 316p.
- ANDRIONI, J. L. Fabricação de Papel – Preparo de Massa. Curitiba, 2006. 252p.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Condicionamento de papel e papelão para ensaios. ABTCP - P4/94. São Paulo, 1994. 12p.
- BARROTTI, S. L. B., BERGMAN, S. Propriedades do papel e ensaios para sua avaliação. In: SENAI, IPT Celulose e papel: Tecnologia de fabricação de papel. 2.ed. São Paulo, 1988. v.2. Cap. 7, p.818-842.
- BONNET, J. Problemas em la parte húmeda de las máquinas de papel o de cartón. Investigación y técnica del papel. Madrid, s.d.
- BRITT, K.W., *Handbook of pulp and paper technology*. 2^a ed. New York, USA, Van Nostrand Reinhold, 1970. 723 p.
- CAMPOS, E. S. Curso de fabricação de papel. “In company”: Adamas. Apostila ABTCP, 2008.
- CAMPOS, E.S. Curso básico de fabricação de papel tissue. “In company”: Santher Bragança Paulista. Apostila ABTCP, 2008.
- CAMPOS, E.S. Curso de fabricação de celulose e papel. “In company”: Bracelpa. Apostila ABTCP, 2009.
- CASALS, R. Características del papel. Barcelona, Howson - Algraphy, [s.d.]. 174 p.
- COMA, F.A. Imprimibilidad de los papeles. In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE BARCELONA. Relaciones Tinta-Papel, III, IV, V. Terrasa, 1988. 431 p. Cap. 1, p. 1-31.
- CUNHA, V. R., RASHID. Características que influem na qualidade – brilho, lisura, opacidade para calandragem on/off machine. VCP/ABTCP.
- D’ALMEIDA, M.L.O., et alli, TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL. 2^a ed. São Paulo. Escola SENAI “Theobaldo De Nigris” e IPT, 1988, 968 p.
- DOS SANTOS, C.H.G. Curso: papel “tissue” (técnicas de fabricação – parte 1). ABTCP, maio, 1994.
- GALLO, C.R.M., Conceitos de máquinas para a fabricação de papéis tissue de alta qualidade. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34^o, São Paulo, 2001. *Anais* ABTCP.
- GÓMEZ, B. et al. Refino de pastas. Comites Técnicos de Pastas y Papeles. Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española, s.d.

- HATIA, MOHSEEN. Depuração de aparas. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM. ABTCP, 2004.
- HUYCK NORTELAS. Aplicação feltro agulhado. ABTCP, 2003.
- JUSTO, D., ZIMMERMANN, J.L., Atualização em feltros aplicada às atuais exigências de prensagem (Albany Internacional – Feltros e Telas Industriais Ltda). Congresso Internacional de Celulose e Papel, 23 a 26 de outubro de 2000, São Paulo, Brasil.
- KEIM, K. El papel, 1966.
- LIBBY, C.E. Ciencia y tecnologia sobre pulpa y papel. Tomo II: papel, McGraw-Hill Book Company, New York, 1977.
- LÓPEZ, A.L.T., Tecnología del Papel (apuntes de curso). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, s.d.
- MACEDO, C.A.S., Teoria do crepe. Santher / ABCTP
- MOLINERO, J.O. Aptitud de los papeles kraft en el pegado del cartón corrugado. Inv. Téc. Papel núm. 98, 1988, pg. 873-883.
- PALESTRA SOBRE DEPURAÇÃO DE APARAS (CBTI / KADANT). Seminário sobre Reciclagem em Juiz de Fora, MG, nos dias 27 e 28 de julho de 2004.
- PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2, Drying. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 2000. 498 p.
- PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 2000. 466 p.
- PEPE, L. Introdução à fabricação do papel. Curso ABTCP/2000.
- PETERS, D. Recientes desarrollos em telas de formado. Mari, noviembre/diciembre, 2002, pg. 28-30
- PITA, J.M. Fabricação de papel. Curso “in company” (COCELPA). 2005
- POCOVI, D.H.C. Nuevas tendencias em la fabricación del papel para ondular. El Papel, Marzo/Abril 1988 (versión 2009), pg. 81-84.
- POIRIER, N.A., PIKULIK, I.I., Novos desenvolvimentos no campo da secagem. O Papel. Fevereiro. 2003. p71-p79.
- REIS, E.A., Influência da refinação de alta consistência em papéis sack kraft. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35º, São Paulo, 2002. *Anais* ABTCP.
- RENÉ et al. Depuración de las pastas. Comites Técnicos de Pastas y Papeles. Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española, s.d.

- RODRIGUES, J.F. Curso de preparação de massa (aparas). ABTCP, 2005.
- RODRIGUES, J.F. Papéis “tissue”. ABTCP. Julho, 1998
- RODRIGUES, J.F. Preparação de massa. Curso ABTCP.
- ROVERI, M. Curso fabricação de papéis tissue. ABTCP. Outubro, 1997.
- SCOTT, W.E., TROSSET, S. Properties of paper: an introduction. Atlanta, Tappi, 1989. 170 p.
- SENAI CETCEP. Fabricação de papel – preparação de massa. Livro.
- SENAI CETCEP. Preparação de massa e desagregação da massa (unidade 3). Apostila do curso de Tecnologia da fabricação de papel.
- TRUCCO, J.V. Nueva tecnología para el control de depósitos sobre telas y feltros. Pulpa y Papel, V.1, Nº 2, Noviembre, 1991, pg. 31-36.
- TURRADO, J. et al. Optimización del proceso de fabricación del cartón corrugado. MARI/Board Converting News, Mayo 1994, pg. 45-49.
- UENO, P.Y., Curso sobre formação, prensagem e secagem do papel. Santa Luzia, MG. ABTCP. Dezembro, 2005.
- VCP. Tendência de mercado e qualidade. 200_
- VERLAG, Dr. C. H. Papiermacher Taschenbuch. Heilderberg, 1989.
- <http://arte.upla.cl/texto-imagen/el-papel.pdf>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/villarreal_j_la/capitulo4.pdf
- <http://enciclopedia.us.es/index.php/Papel>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Papel>
- <http://html.rincondelvago.com/tipos-de-papel.html>
- http://semades.jalisco.gob.mx/02/pdf/uso_sustentable_papel.pdf
- <http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v11n2/11-2-7.pdf>
- <http://thesis.ubi.pt/upload/109/424/PhD%20Alvaro%20Vaz.pdf>
- <http://www.arquitectuba.com.ar/diccionario-arquitectura-construccion/papel/>
- http://www.aspapel.es/memoria_final.pdf
- <http://www.celso-foelkel.com.br>
- <http://www.cib.espol.edu.ec/bivir/tesis.asp>
- <http://www.cismadeira.com/especies/downloads/pastapapel.pdf>
- <http://www.conama.org/documentos/140.pdf>
- http://www.empacar.com.bo/calidad_corrugado.htm
- <http://www.eucalyptus.com.br>
- <http://www.fabriano.com.ar/laempresa.php>

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2007/08-Papermaking/FundamFabPapel_14_4pp.pdf

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2007/08-Papermaking/FundamFabPapel_14_4pp.pdf

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2007/08-Papermaking/FundamFabPapel_13_4pp.pdf

<http://www.globalequip.com>

<http://www.iconio.com/ABCD/B/pdf/papel.pdf>

<http://www.ihobe.es>

<http://www.infomipyme.com/Docs/NI/Offline/Procesos%20Productivos%20del%20Papel.pdf>

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/10mo3/72.pdf>

<http://www.ipe.es/upload/Diagnostico.pdf>

http://www.jetro.go.jp/chile/pdf/nedo_papel_pulpa.pdf

<http://www.kroftaengineering.com>

<http://www.monografias.com/trabajos15/composicion-madera/composicion-madera.shtml>

<http://www.monografias.com/trabajos44/celulosa-madera/celulosa-madera.shtml>

<http://www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas2.shtml>

<http://www.p2pays.org/ref/20/19329.pdf>

http://www.papelnet.cl/ayuda/glosario_p.htm

http://www.papelnet.cl/carton_corrugado/carton_corrugado.htm

<http://www.papelnet.cl/celulosa/fase4.htm>

http://www.papelnet.cl/papel_tissue/papel_tissue.htm

http://www.papelnet.cl/productos_papel/hace_multipliego.htm

<http://www.papermarket.cl/>

<http://www.papermarket.cl/papermarket/site/pags/20030528182418.html>

<http://www.papermarket.cl/papermarket/site/pags/20031202003835.html>

<http://www.perfectfit.voithpaper.com>

http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/ec_97.asp?cuaderno=97

<http://www.reciclapapel.org/htm/info/tecnica/ciclo/Tipospapel.asp>

<http://www.reciclapapel.org/htm/info/tecnica/tpsodifibras.asp>

<http://www.regmed.com.br>

<http://www.sappi.com>

<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n5/art14.pdf>

<http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

<http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/comparativa>

<http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/pasta-termomecanica>

<http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/produccion-mecanica>

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/introduccion>

<http://www.uchile.cl/cultura/grabadosvirtuales/apuntes/papel.html>

https://www.u-cursos.cl/forestal/2008/2/TM029/1/material_docente/objeto/1793