

911.37



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL

CEP: 04108-040 - Rua Ximbó, 165 - Fone: (011) 574-0166 - Fax: (011) 571-6485 - São Paulo - SP - Brasil

## **CURSO**

# **TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO DE PAPÉIS E CARTÕES PARA EMBALAGEM**

**03.08.94**

**São Paulo**

**Apresentação:**

**FRANCISCO CÉSAR RAZZOLINI**

**Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S/A**

# FABRICAÇÃO DE PAPÉIS PARA EMBALAGEM

## 1.0 - INTRODUÇÃO

## 2.0 - VISÃO ECONÔMICA DA INDÚSTRIA PAPELEIRA

- 2.1 - Produção Mundial de Celulose e Papel
- 2.2 - Situação Brasileira

## 3.0 - CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA

- 3.1 - Indústria Pesada
- 3.2 - Intensiva em Capital
- 3.3 - Intensiva em Energia
- 3.4 - Papel Procede de um Recurso Natural Renovavel
- 3.5 - A Indústria Papeleira é Intensiva em Água
- 3.6 - Papel é um Produto Reciclável
- 3.7 - Papel é uma Commodity

## 4.0 - PAPÉIS PARA EMBALAGEM

- 4.1 - Papéis para Embalagens Leves
- 4.2 - Papéis para Embalagens Pesadas
- 4.3 - Cartões e Cartolinas
- 4.4 - Papelão

## 5.0 - PROPRIEDADES FÍSICAS CARACTERÍSTICAS DOS PAPÉIS PARA EMBALAGEM

- 5.1 - Introdução
- 5.2 - Papelão Ondulado
- 5.3 - Papéis para Papelão Ondulado - Propriedades Físicas
  - 5.3.1 - Papéis para Capas
    - 5.3.1.1 - Gramatura, Espessura e Umidade
    - 5.3.1.2 - Resistência à Compressão de Canto
    - 5.3.1.3 - Resistência ao Arrebentamento
    - 5.3.1.4 - Resistência à Delaminação
    - 5.3.1.5 - Rigidez
    - 5.3.1.6 - Permeabilidade ao Ar
    - 5.3.1.7 - Resistência à Água
    - 5.3.1.8 - Coeficiente de Fricção
  - 5.3.2 - Papel Miolo
    - 5.3.2.1 - C.M.T.
- 5.4 - Papéis para Sacos
  - 5.4.1 - T.E.A.

- 6.0 - FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE DOS PAPÉIS DURANTE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO
  - 6.1 - Matérias-primas Fibrosas
    - 6.1.1 - Fibras de Resinosas
    - 6.1.2 - Fibras de Folhosas
  - 6.2 - Processos de Polpação
    - 6.2.1 - Processo Kraft
  - 6.3 - Refinação
    - 6.3.1 - Parametros
      - 6.3.1.1 - Tipo de Polpa
      - 6.3.1.2 - pH
      - 6.3.1.3 - Temperatura
      - 6.3.1.4 - Consistência
      - 6.3.1.5 - Velocidade de Rotação dos Discos
      - 6.3.1.6 - Características dos Discos
      - 6.3.1.7 - Potência Aplicada
      - 6.3.1.8 - Carga Específica de Borda
    - 6.3.2 - Determinação do Grau de Refinação
    - 6.3.3 - Influências da Refinação
  - 6.4 - Preparo de Massa
    - 6.4.1 - Aditivos Funcionais
      - 6.4.1.1 - Agentes de Colagem
      - 6.4.1.2 - Agentes de Resistência em Seco
      - 6.4.1.3 - Agentes de resistência em Umido
    - 6.4.2 - Aditivos Auxiliares de Processo
      - 6.4.2.1 - Antiespumante
      - 6.4.2.2 - Agentes de Retenção
  - 6.5 - Caixa de Entrada e Formação da Folha
  - 6.6 - Prensagem
  - 6.7 - Secagem
  - 6.8 - Acabamentos Superficiais
  - 6.9 - Relações Papel-Umidade

# FABRICAÇÃO DE PAPÉIS PARA EMBALAGEM

## 1. INTRODUÇÃO

O papel costuma ser definido como uma estrutura plana, formada por fibras vegetais entrelaçadas umas às outras.

A fabricação do papel consiste em destruir uma estrutura coerente - o tronco da árvore - e voltar a contruir outra: uma rede fibrosa que volta a ser coerente, uma vez eliminada a água na fase de fabricação da folha. O elemento básico desta estrutura é o mesmo da estrutura original - a fibra celulósica, que deverá sofrer os menores danos possíveis durante as fases de isolamento e individualização da madeira (5).

As embalagens vêm a cumprir uma função de proteção, que é própria da natureza, ou seja, notamos elementos de proteção na maioria dos produtos naturais, ou não é verdade que, frutas, legumes, cereais, árvores e etc estão embalados, isto é, levam uma proteção externa - as cascas ou peles. Mais que isto, hoje podemos dizer que embalamos:

- para PROTEGER  
o produto e o entorno que o rodeia
- para REDUZIR  
as perdas de produto e resíduos
- para MELHORAR  
a higiene e segurança
- para RACIONALIZAR  
a produção e distribuição
- para UNIFICAR  
o produto
- para AUMENTAR  
a conveniência
- para INFORMAR  
sobre o produto e seu uso
- para VENDER  
o produto

## 2. VISÃO ECONÔMICA DA INDÚSTRIA PAPELEIRA

### 2.1. PRODUÇÃO MUNDIAL DE PAPEL E CELULOSE

Apesar da recessão que atingiu em 1992 os principais países produtores e consumidores de papel e celulose, a indústria de papéis e cartões marcou recorde de produção pelo décimo ano consecutivo. Entretanto, a taxa de crescimento que foi de 2,2% em 1991, baixou para 0,7% em 1992, o que significou um incremento de 5,36 milhões de toneladas de papéis e cartões, elevando a produção mundial para 246,51 milhões de toneladas (1).

O setor de papéis para embalagem, cresceu de 90,5 milhões de toneladas em 1991 para 93,2 milhões de toneladas, participando com 37,8% da produção total.

#### PRODUÇÃO MUNDIAL DE PAPÉIS PARA EMBALAGEM (1) (1000 TON)

	1991	1992
C.E.E	12,55	13,04
ESCANDINÁVIA	4,15	3,96
OUTROS PAÍSES EUROPEUS	4,79	4,28
TOTAL EUROPA	21,50	21,29
AMÉRICA DO NORTE	38,31	39,69
AMÉRICA LATINA	4,87	4,86
ÁSIA	23,32	24,85
AUSTRALÁSIA	1,37	1,38
ÁFRICA	1,18	1,13
TOTAL	90,55	93,20

**MAIORES PRODUTORES  
MUNDIAIS DE PAPEL EM 1992**

- em mil toneladas

01	Estados Unidos da América	74.729
02	Japão	28.322
03	República Popular da China	17.251
04	Canadá	16.594
05	Alemanha	12.930
06	Finlândia	9.147
07	Suécia	8.378
08	França	7.697
09	Comunidade dos Estados Soviéticos	6.050
10	Itália	5.961
11	República da Coreia	5.504
12	Reino Unido	5.128
13	BRASIL	4.915
14	Taiwan	3.977
15	Espanha	3.448
16	Áustria	3.252
17	Holanda	2.835
18	México	2.825
19	Índia	2.540
20	Indonésia	2.263
21	Austrália	2.072
22	África do Sul	1.814
23	Noruega	1.684
24	Suíça	1.305
25	Tailândia	1.245
26	Bélgica	1.138
27	Polónia	1.100
28	Argentina	1.027
29	Portugal	958
30	Turquia	946

**MAIORES PRODUTORES  
MUNDIAIS DE CELULOSE EM 1992**

- em mil toneladas

01	Estados Unidos da América	59.282
02	Canadá	22.841
03	República Popular da China	11.985
04	Japão	11.200
05	Suécia	9.589
06	Finlândia	8.525
07	Comunidade dos Estados Soviéticos	6.800
08	BRASIL	5.368
09	França	2.609
10	África do Sul	2.320
11	Alemanha	2.240
12	Noruega	2.009
13	Chile	1.681
14	Portugal	1.592
15	Espanha	1.530
16	Áustria	1.489
17	Índia	1.400
18	Nova Zelândia	1.288
19	Austrália	982
20	Indonésia	821
21	Polónia	650
22	Argentina	629
23	México	560
24	Reino Unido	545
25	Itália	511
26	República Checa	478
27	Bélgica	468
28	Turquia	375
29	Taiwan	368
30	República da Coreia	323

**MAIORES CONSUMIDORES  
MUNDIAIS DE PAPEL EM 1992**

- em kg/habitante

01	Estados Unidos da América	308,7
02	Finlândia	249,0
03	Japão	228,4
04	Cingapura	217,4
05	Bélgica	213,2
06	Dinamarca	212,5
07	Holanda	207,4
08	Suécia	201,2
09	Suíça	201,0
10	Canadá	196,9
11	Alemanha	189,9
12	Taiwan	179,8
13	Hong Kong	173,8
14	Áustria	171,4
15	Luxemburgo	166,2
16	Reino Unido	162,9
17	Noruega	159,2
18	Nova Zelândia	159,2
19	França	158,7
20	Austrália	157,4
21	Itália	131,9
22	República da Coreia	123,3
23	Espanha	122,5
24	Eslóvenia	107,5
25	Israel	106,1
26	Irlanda	97,2
27	Islândia	96,2
28	Chipre	93,1
29	Portugal	86,8
30	Malta	70,0

(Obs.: Em 1992, o consumo de papel do Brasil foi de 26,6 kg por habitante).

Fonte: Revista Pulp and Paper International - Julho / 93

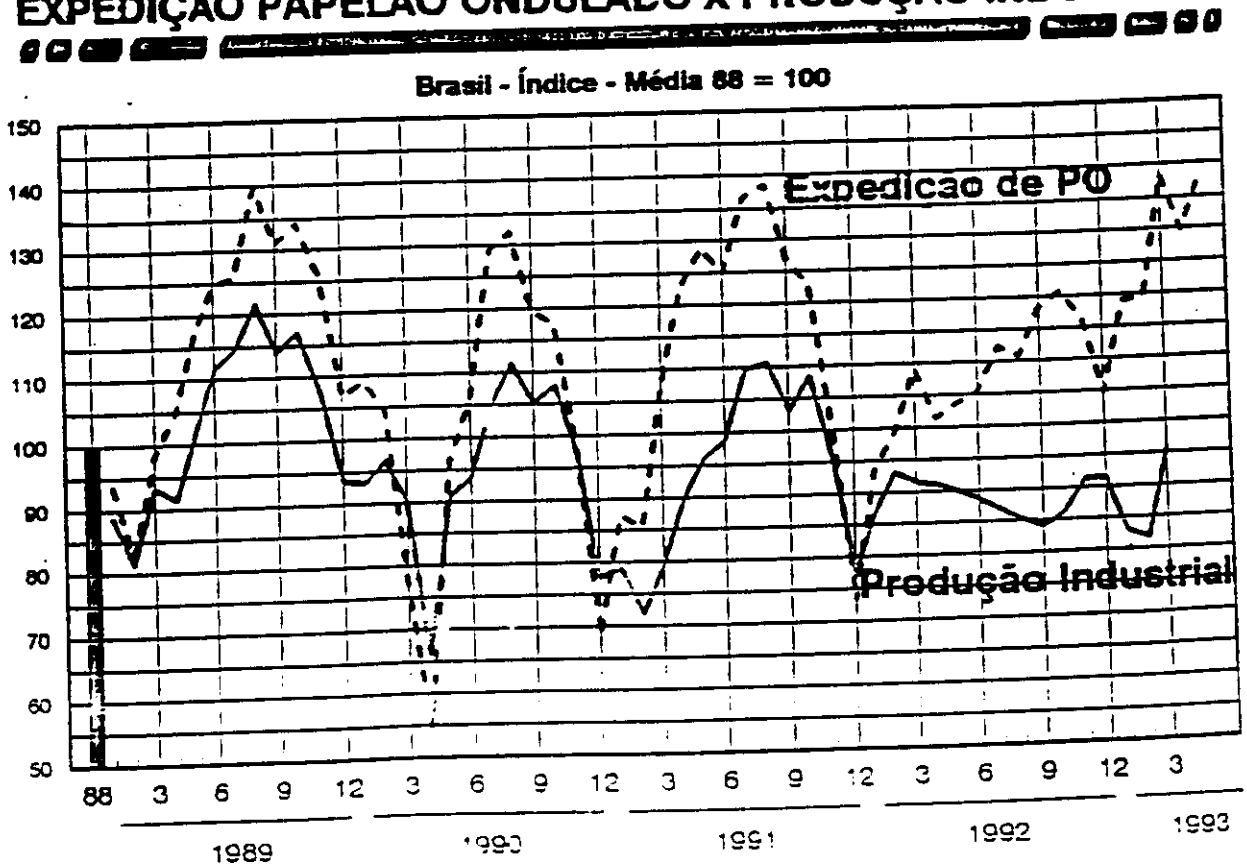
## 2.2. SITUAÇÃO BRASILEIRA

Como observamos na tabela dos 30 maiores produtores e consumidores mundiais, o Brasil ocupa a 13ª posição como produtor de papéis e cartões, é 8º maior produtor de celulose e 13º maior consumidor mundial de papéis (1).

Generalizando, podemos dizer que a posição ocupada no ranking de produtores nos dá uma idéia da potência produtiva da nação, enquanto a posição ocupada no ranking dos consumidores nos dará uma idéia da capacidade econômica do país. No entanto, o grau de desenvolvimento ou nível de vida de um país pode ser estimado pela posição ocupada na lista de consumo aparente "per capita". Nesta lista, estamos bastante longe do padrão dos países desenvolvidos, alcançando um consumo "per-capita" de apenas 26.6 kg/hab.ano em 1992.(ver tabela I).

O consumo de embalagens é um grande indicador do nível de atividade econômica interna, como se observa no gráfico abaixo, ou seja, se desejarmos saber se a economia está com bom desempenho ou não, basta verificarmos como está o volume de expedição de papelão ondulado.

### EXPEDIÇÃO PAPELÃO ONDULADO X PRODUÇÃO INDUSTRIAL



### 3. CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA

#### 3.1. INDÚSTRIA PESADA

A indústria papelreira é uma indústria pesada, tanto pela dimensão, quanto pela complexidade das suas instalações.

Em geral, as fábricas de celulose são as maiores, algumas com instalações superando 1.000.000 de toneladas ano (2).

As fábricas de papel têm um tamanho médio menor. Uma máquina pode pesar umas 8 toneladas por t/d de papel produzido. Ou seja, podemos chegar a máquinas com aproximadamente 8.000 ton de equipamentos instalados (3).

#### 3.2. INTENSIVA EM CAPITAL

Devido ao já citado acima, pela utilização de equipamentos grandes e caros, refere-se a indústria papelreira como sendo intensiva em capital.

O custo de uma máquina de papel chega facilmente a US\$ 300 milhões e um complexo integrado de celulose e papel atinge cifras próximas do bilhão de dólares (2).

Uma unidade de conversão de papelão ondulado atinge valores menores, embora ainda assim importantes, na casa de US\$ 20 milhões, ou mais dependendo sobremaneira do grau de sofisticação e automação implantados.

Devido ao intenso capital empregado, os investimentos na indústria papelreira são propósitos de longo termo.

Devemos ainda citar os significativos investimentos que a indústria vem fazendo, na luta para reduzir contaminações ambientais.

#### 3.3. INTENSIVA EM ENERGIA

A indústria papelreira consome grande quantidade de energia nas áreas de preparo de madeira, polpação, refino, branqueamento e secagem.

A fabricação de uma tonelada de papel, consome energia equivalente a 6 barris de petróleo (3).

Baseada em desenvolvimento sustentado, a indústria papelreira, tem diminuído gradativamente sua dependência de combustíveis de petróleo, gás ou energia da queima de resíduos madeireiros e lúxias resultantes do processo de polpação química. De fato, uma planta de celulose kraft, é autosuficiente em energia.

No contexto global, a indústria de celulose e papel, já capaz de gerar mais de 50% do total da energia que necessita. (2).

#### 3.4. PAPEL PROCEDE DE UM RECURSO NATURAL RENOVÁVEL

Atualmente, quase todo papel produzido provém do reino vegetal. Aproximadamente 1% das fibras que entram na composição do papel são artificiais ou sintéticas. Das fibras naturais, 93% são espécies arbóreas (coníferas e folhosas) enquanto os 7% restantes são espécies lenhosas (bambú, sisal, cana, etc.) (3).

Podemos considerar que a matéria-prima papelreira básica provém de uma plantação com colheitas em períodos maiores, para as espécies mais usuais no Brasil, temos períodos de 7 a 10 anos para eucalipto e 12 a 15 anos para pinus.

Os bosques de madeira são um recurso inesgotável para a espécie humana sempre e quando sejam corretamente gerenciados.

Diz-se costumeiramente, que não herdamos o meio ambiente de nossos pais, mas sim o tomamos emprestado de nossos filhos. E os empréstimos têm de ser devolvidos. As árvores que hoje emprestamos dos bosques, devem ser devolvidos mediante replantio.



Este tipo de devolução não é possível com outros recursos como carvão, petróleo, gás ou metais. Por isto, os recursos não renováveis deveriam ser poupados, e em contra-partida, deveríamos consumir madeira com muita liberdade (4).

Da madeira utilizada no mundo, segundo dados da FAO, temos :

52%	combustível
36%	serrarias
12%	papel e cartão

Os fabricantes de papel e celulose, conscientes da importância do suprimento adequado de madeira, constituem-se no grupo mais ativo em pesquisa florestal e reflorestamento. Junto a isto, se estuda uma melhor utilização de biomassa, novos métodos de fabricação que resultem em maiores rendimentos, a produção de papel com menor peso por metro quadrado e maior utilização de papéis reciclados (3).

### 3.5. A INDÚSTRIA PAPELEIRA É INTENSIVA EM ÁGUA

A água assume grande importância nas diversas etapas da produção de papel. É ela o principal veículo de transporte das fibras e produtos químicos utilizados na fabricação. As suspensões fibrosas nas etapas de fabricação estão entre 5 e 20 % em geral. O papel é formado a consistências muito baixas (0,5%).

Devido a isto, grandes quantidades de água são utilizadas. E grande parte é reutilizada, em especial na máquina de papel (2).

Uma máquina de papel, provavelmente, utilizará aproximadamente 20 m<sup>3</sup> de água/ton de papel. Se considerarmos que as fábricas modernas produzem de 300 a 1500 ton/d, veremos a enorme quantidade de água a ser utilizada.

Esta enorme quantidade de água utilizada preocupa devido às possibilidades de contaminações ambientais, em especial das fábricas de celulose, por isto, nos últimos 20 anos, aumentaram-se os esforços para reduzir os volumes utilizados, principalmente através do fechamento dos circuitos, implementando assim a quantidade reutilizada.

### 3.6. PAPEL É UM PRODUTO RECICLÁVEL

Uma das características importantes do papel é sua capacidade de ser reciclado. O interesse desta operação é variado : preservação de florestas, redução do consumo de energia necessária para a fabricação e redução do volume de resíduos (3).

O papel pode ser recuperado para fabricar-se novamente papéis, para obtenção de produtos que não são estritamente papeleiros como placas isolantes ou para incineração para recuperar calor e energia.

A reciclagem é tema muito em "moda" atualmente, embora a muito já praticada. As taxas anuais de reciclagem estão crescendo, com alguns países já atingindo valores superiores a 50%.

### 3.7. PAPEL É UMA COMMODITY

Grande parte do papel é produzido em gramaturas, cujas especificações são similares de produtor a produtor e cujos benefícios provêm da capacidade de cada produtor em alcançar baixos custos de produção.

O papel alcançou o "status" de "commodity" a poucos anos, em especial com o grande incremento de consumo em países altamente industrializados. A 50 anos atrás, o consumo "per capita" nos EUA era de 100 kg/hab.ano, hoje chega a mais de 300 kg/hab.ano. A quantidade de papel para suprir aquele mercado é de aproximadamente 80 milhões de toneladas/ano

#### 4. PAPÉIS PARA EMBALAGEM

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Papel e Celulose, o grupo de papéis e cartões para embalagem é formado por (6):

##### 4.1 PAPÉIS PARA EMBALAGENS LEVES E EMBRULHOS

###### 4.1.1 ESTIVA E MACULATURA

Papéis fabricados com aparas, em cor acinzentada, em gramaturas de 70 a 120 g/m<sup>2</sup>. Usados em embrulhos que dispensam apresentação.

###### 4.1.2 MANILHINHA ( PADARIA)

Fabricado com aparas, pasta mecânica ou semiquímica, em gramaturas de 40 a 45 g/m<sup>2</sup>, monolúcido ou não, em cor natural e em folhas dobradas. Usado essencialmente em padarias.

###### 4.1.3 MANILHA

Fabricado com aparas, pasta mecânica e/ou semiquímica, em geral em gramaturas entre 40 e 100 g/m<sup>2</sup>, monolúcido em cores características ou natural. Usado para embrulhos e embalagens industriais.

###### 4.1.4 FÓSFORO

Fabricado com pasta química, em 40 g/m<sup>2</sup> monolúcido ou não, na cor azul característica. Utilizado essencialmente para forrar caixas de fósforo.

###### 4.1.5 STRONG

Fabricado com pasta química (strong de primeira), aparas e/ou pasta mecânica (strong de segunda), nas gramaturas de 40 a 80 g/m<sup>2</sup>, em geral monolúcido, branco ou cores claras. Usado na fabricação de sacos de pequeno porte, forros e para embrulhos.

###### 4.1.6 SEDA

Fabricado com pasta química branqueada ou não, em gramaturas entre 20 e 27 g/m<sup>2</sup>, branco ou em cores. Usado em embalagens leves, embrulhos de objetos de arte, enfeite e proteção de frutas.

###### 4.1.7 IMPERMEÁVEIS

Papéis com baixa permeabilidade a substâncias gordurosas. Exemplos: glassine ou pergaminho (altamente refinados e supercalandrados); greaseproof (translúcidos e sem supercalandragem)

##### 4.2 PAPÉIS PARA EMBALAGENS PESADAS

#### 4.2.1 KRAFT

Fabricados, em geral, com pasta química sulfato não branqueadas, em gramaturas de 30 a 200 g/m<sup>2</sup>, cuja principal característica é a resistência mecânica elevada. Distinguem-se variedades como kraft branco (pasta branqueada), kraft para sacos multifoliados ( 80 a 90 g/m<sup>2</sup>, em geral extensíveis).

#### 4.2.2 PARA PAPELÃO ONDULADO

MIOLO - Fabricados de pastas semi-químicas, mecânicas e aparas, com gramaturas de 110 a 190 g/m<sup>2</sup>, usados na confecção do miolo para papelão ondulado.

CAPA DE 1ª - Com elevada porcentagem de fibras virgens, com gramaturas maiores que 120 g/m<sup>2</sup>, que constituirão a capa ou forro das caixas de papelão ondulado.

CAPA DE 2ª - Semelhante ao capa de 1ª, porém com propriedades mecânicas inferiores devido à utilização de elevadas proporções de aparas.

#### 4.3 CARTÕES E CARTOLINAS

Caracterizam-se por sua elevada gramatura e relativa rigidez.

##### 4.3.1 CARTÃO DUPLEX

Cartão composto de forro e suporte, em gramaturas entre 200 e 600 g/m<sup>2</sup> :

Forro - camada superior fabricada com pasta química branqueada, monolúcido, com ou sem tratamento superficial.

Suporte - camada inferior, fabricada com pasta não branqueada e/ou aparas.

##### 4.3.2 CARTÃO TRIPLEX

O suporte é forrado em ambas faces.

#### **4.3.3 CARTÃO BRANCO ( FOLDING)**

Cartão de uma só massa, formado por uma ou mais camadas. Geralmente utilizado em embalagens com corte e vinco, impresso.

#### **4.3.4 CARTÕES EM CORES**

Cartões coloridos, usados principalmente na confecção de fibras e pastas para arquivos

#### **4.4 PAPELÃO**

Cartões com elevada gramatura e rigidez, multicamada em geral da mesma pasta, cuja cor é consequência dos materiais empregados na sua fabricação. Geralmente comercializado em formatos e identificados por números que indiquem a espessura das folhas contidas em um amarrado de 25 kg.

##### **4.4.1. PAPELÃO MADEIRA OU PARANÁ**

Fabricado com fibras virgens de pasta mecânica ou mecano-química.

##### **4.4.2. PAPELÃO CINZA**

Obtido a partir de aparas.

## 5. PROPRIEDADES FÍSICAS - CARACTERÍSTICAS DOS PAPÉIS USADOS PARA EMBALAGEM

### 5.1 INTRODUÇÃO

Procuraremos neste tópico, descrever algumas das propriedades físicas dos papéis utilizados para embalagem, principalmente aquelas características essenciais nos papéis utilizados na fabricação de chapas de papelão ondulado, quer capas ou miolo e em papéis usados para fabricar sacos.

### 5.2 PAPELÃO ONDULADO

Papelão ondulado, é uma estrutura composta por folhas lisas exteriores, as capas e folhas onduladas que formam as ondas, o miolo.

Normalmente se classificam os papelões ondulados, conforme o número de papéis que o compõe, assim, podemos ter a face simples, formado por uma folha lisa (uma capa) e uma ondulada, unidas por colagem. Este é o módulo elementar de todo cartão ondulado (ver figura abaixo).

Unindo uma segunda capa, forma-se a capa dupla. Se a esta unirmos outro módulo elementar, teremos o duplex (parede dupla) e sucessivamente obteremos o triplex (ver figura abaixo).

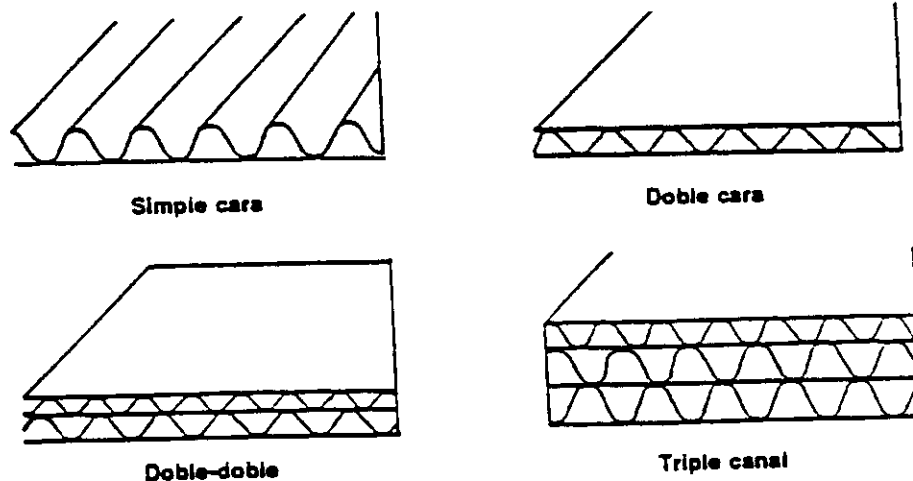


Fig. 1.- Tipos de cartón ondulado

O objetivo dos cartões ondulados, é proporcionar uma relação "capacidade de resistência/peso da estrutura"o mais elevada possível, o que significa obter a máxima capacidade de resistência com menor preço possível.

As exigências que uma caixa de papelão ondulado deve ter são:

- Baixo peso
- Capacidade de suportar empilhamento
- Resistência ao manuseio e transporte
- Boa capacidade de impressão
- Resistência a água
- Resistência a úmido
- Baixo custo
- Limpeza
- Reciclagem

Um bom papel para embalagem, deve transferir às caixas estas propriedades.

### 5.3 PAPÉIS PARA PAPELÃO ONDULADO - PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 5.3.1 PAPÉIS PARA CAPAS (KRAFTLINER/TESTLINER)

##### 5.3.1.1. GRAMATURA, ESPESSURA E UMIDADE

São características globais ou gerais de todo papel.

Em produção ou conversão, duas características essenciais, são o peso e área. Por exemplo, os papeleiros mensuram sua produção em toneladas e a vendem por peso ou área, de acordo com a necessidade do cliente.

**GRAMATURA:** Massa por unidade de área do papel. É expressa em gramas por metro quadrado.

A gramatura afeta a maioria das propriedades do papel. Para facilitar uma comparação, é costume referir algumas propriedades à gramatura (ex: índice de tração, estouro, etc.)

**ESPESSURA:** Distância perpendicular entre as duas faces do papel, medidas segundo condições específicas de pressão. É expressa normalmente em milímetros ou micras.

**UMIDADE:** É a quantidade de água retida no papel, expressa em porcentagem. Medida pela relação entre a massa do material remanescente após a secagem e a massa anterior à secagem.

Consideramos estas propriedades como gerais, pois afetam quase todas as outras propriedades do papel.

Extremamente importante é a uniformidade destas 3 propriedades.

O bom desempenho de um papel para embalagem é praticamente garantido pela uniformidade da gramatura, espessura e umidade.

Máquinas modernas estão sendo equipadas com equipamentos para correção automática destes parâmetros.

Faixas de variações destes parâmetros que considerávamos toleráveis (4% para gramatura e umidade e 50 micras para espessura) estão sendo reduzidas à metade ou menos. Este é um requerimento para conversões em ondulateiras que chegam a operar a velocidades maiores que 300 m/min.

Deve-se notar que já consideramos equipamentos de leitura em linha de gramatura, espessura e umidade como indispensáveis na indústria moderna, ou pelo menos para aquela empresa preocupada com qualidade e satisfação de seus clientes.

### 5.3.1.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (RCT,STFI)

Esta propriedade 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 de Edge Crush Test (ECT) - que por sua vez definirá a resistência ao empilhamento das caixas de Papel Ondulado, avaliada pelo Box Compression Test (BCT).

O reconhecimento da importância deste teste foi dada nos EUA, através da recente revisão da "Rule 41" da Uniform Freight Classification e do Ítem 222 da "National Motor Freight Classification", em abril de 1992, revisão levada a cabo pelo CORBOTEC - Corrugated Board Technical Service Committee e pelo FISCOTEC - Fiberboard Shipping Container Testing Committee, que devincularam o teste de Estouro dos papéis constituintes da chapa de papel ondulado como teste de referência para definir a resistência das caixas, colocando em seu lugar o teste de compressão de canto (ECT) ou teste de coluna (7).

Apesar de tão importante, este teste apresenta dificuldades de avaliação, devido a reduzida espessura dos corpos de prova, o que implica em que estes corpos tenham elevada esbeltez. Uma tira de papel trabalhando sobre compressão, pode ser considerada como uma coluna de altura,  $h$ ; largura,  $l$ ; e espessura,  $e$  e a esbeltez,  $\lambda$  será:

$$\lambda = 2 \sqrt{3} \ h/e$$

Na figura abaixo, podemos observar a evolução da tensão de compressão máxima, em função da esbeltez (Teoria de Euler).

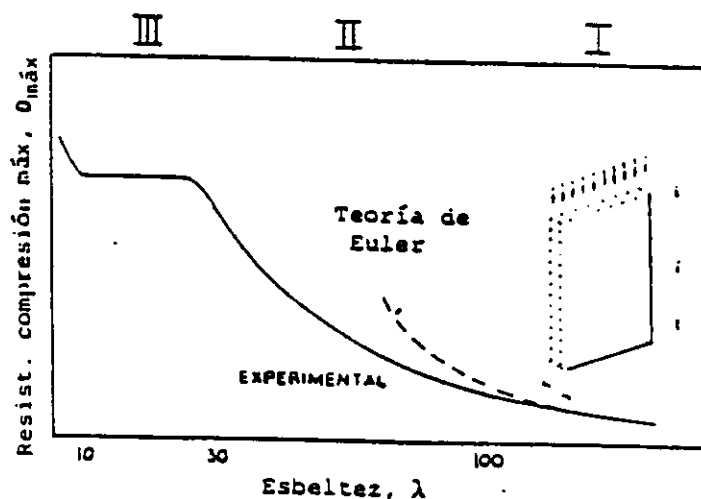


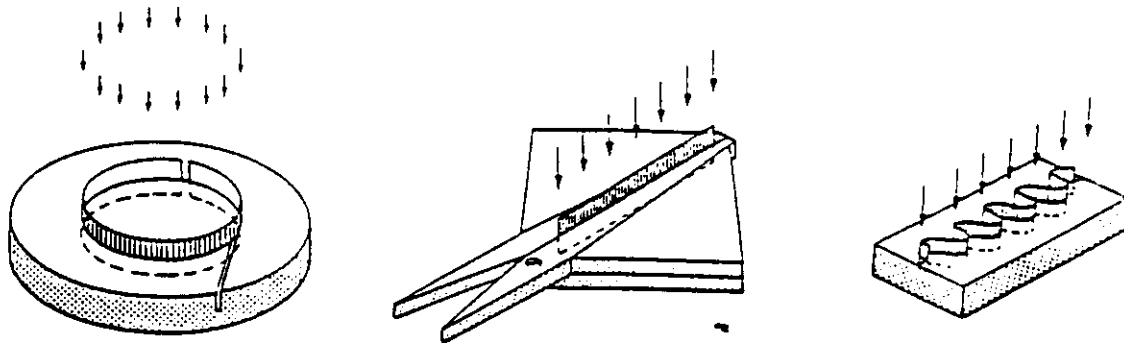
Fig. 8.13.- Relación entre la tensión máxima de compresión y la esbeltez.



Somente quando a esbelteza é relativamente pequena ( $< 30$ ), podemos determinar a verdadeira resistência a compressão de canto (8).

Para os papéis de embalagem, que normalmente apresentam espessura entre 0,200 e 0,500 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 figura abaixo (8).



O teste mais difundido, é o de resistência a compressão em anel (Ring Crush Test - RCT), que está normalizado segundo Norma TAPPI T 818. Os resultados são expressos em KN/m.

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  $300 \text{ g/m}^2$ , ao curvamos o papel, podemos enrugá-lo, falseando o resultado (9).

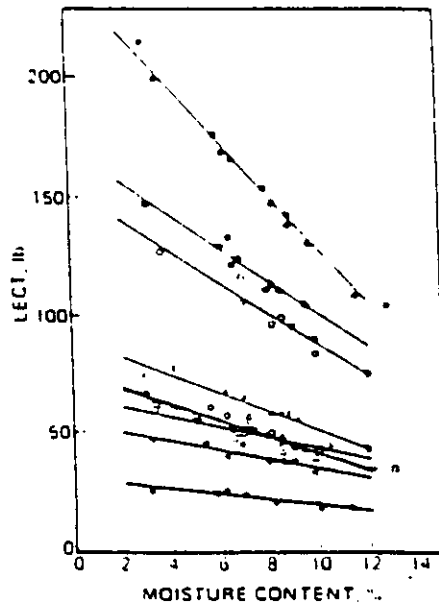
Este ensaio, correlaciona-se com o ECT, e, em primeira aproximação, podemos utilizar a seguinte expressão:

$$\text{ECT} = \text{RCT}_{\text{capas}} + \mathcal{L}_i \cdot \text{RCT}_{\text{miolo}}$$

Sendo  $\mathcal{L}_i$  o valor do coeficiente de ondulação do miolo (9).

Um teste que está ganhando terreno na determinação da resistência a compressão é o STFI (Short-Span), desenvolvido na Suécia, que faz a medida da compressão em um corpo de prova preso a mordças distanciadas 0,7mm. Este teste apresenta resultados 15 a 30 % maiores que aqueles que utilizam corpos de prova maiores. As razões para este incremento na compressão são: a) uma maior ordem de magnitude da taxa de compressão e b) uma maior probabilidade de falhas em corpos de prova maiores (10).

Este ensaio é notavelmente influenciado pela umidade do papel, como se observa na figura abaixo.



### 5.3.1.3. RESISTÊNCIA AO ARREBENTAMENTO - ESTOURO

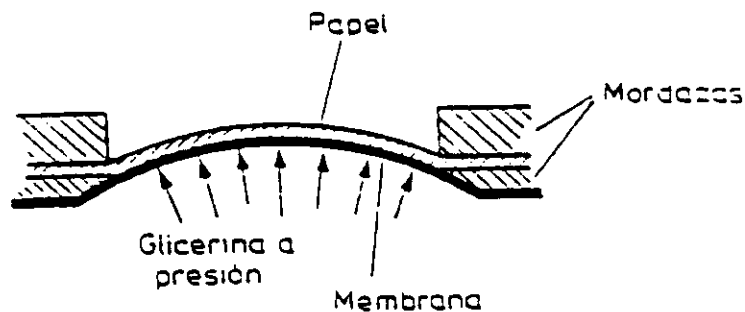
A resistência ao arrebatamento, é a pressão limite que suporta um papel.

Esta pressão é obtida pelo bombeamento de glicerina contra uma membrana elastomérica, que então deformará o papel que está preso entre dois anéis de fixação, até que ocorra ruptura.

Este é um dos testes mais antigos e conhecidos na indústria papelreira, especialmente pela simplicidade e facilidade de realizá-lo. No entanto, para que se obtenham boas correlações interlaboratoriais, é preciso um correto acompanhamento da norma, que especifica a velocidade de bombeamento da glicerina (  $95 \pm 5 \text{ cm}^3/\text{min}$  ), as características da membrana, a superfície de ensaio (  $7,3 \text{ cm}^2$  ou  $30,5 \text{ mm}$  de diâmetro). Ainda assim, a pressão entre os anéis de fixação é de extrema importância para resultado do teste.

O aparelho mais conhecido para a medição do estouro é o "Mullen", o que ajudou a tornar o teste conhecido como Mullen.

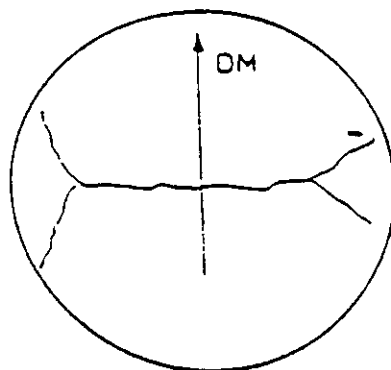
Os resultados são expressos em  $\text{KN/m}^2$  ou  $\text{KPa}$  no Sistema Internacional. No entanto, ainda está largamente difundido expressar os resultados em  $\text{lb/in}^2$  ( $\text{KPa} = \text{lb/in}^2 \times 6,89$ ).



- Princípio de la medida de la resistencia al reventamiento.

O teste de estouro, correlaciona-se bastante com a tração longitudinal do papel. Isto está embasado na distribuição de tensões no corpo de prova durante o teste. Antes de romper-se, a amostra rigidamente fixada deforma-se pela força aplicada pela membrana em expansão. A deformação é aproximadamente igual em todas as direções. No entanto, o papel não deforma-se igualmente em todas as direções, o que origina tensões desiguais e causará a ruptura do papel. Na maioria dos casos, a linha de ruptura será perpendicular à direção da máquina, porque o papel

deforma-se menos nesta direção. Como consequência, o teste de estouro pode ser usado para a determinação da direção máquina da amostra testada (desde que ocorra uma linha principal de ruptura) (2).



Apesar de sua popularidade, o teste de estouro pouco relaciona-se com qualquer requisito final do papel. Em geral, este teste é utilizado por sua conveniência como um indicativo geral de resistência do papel.

Para comparativos entre diferentes papéis de diferentes gramaturas, pode-se empregar o índice de arrebentamento, que é o valor do arrebentamento dividido pela gramatura. Na tabela abaixo estão alguns valores típicos para este índice (8).

#### VALORES DE ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO

PAPEL	ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO
Imprensa	1,0 - 1,5
Impressão - escritura	2,0 - 2,5
Vegetal	2,5 - 3,5
Filtro	2,0 - 3,0
Kraft	3,5 - 5,0

### 5.3.1.4 RESISTÊNCIA A DELAMINAÇÃO

Testes que determinam a coesão interna da folha de papel ( Ply-Bond).

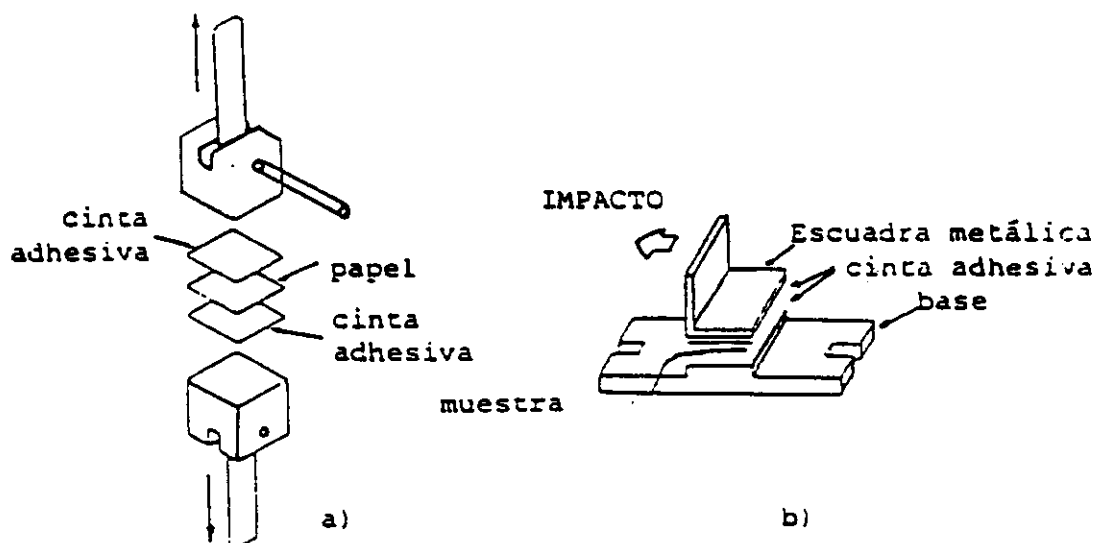
Se observarmos ao microscópio uma seção transversal de um papel, poderemos constatar que sua estrutura é multiplana. Isto é, praticamente não encontramos nenhuma fibra disposta na direção da espessura ou direção Z.

Do ponto de vista prático, a resistência na direção Z, permite avaliar em que medida o papel ou cartão pode suportar tensões perpendiculares ao plano e portanto, em quanto poderá suportar as tensões que aparecem na impressão e na manipulação da folha (8).

Existem, basicamente dois métodos de medir a coesão interna:

- a) Esforços de tração
- b) Impacto

No método "a" se baseia em um dispositivo constituído por dois blocos metálicos de superfície polida, nos quais se fixa o papel através de fitas adesivas de dupla-face (resultados em KPa), como na figura abaixo.

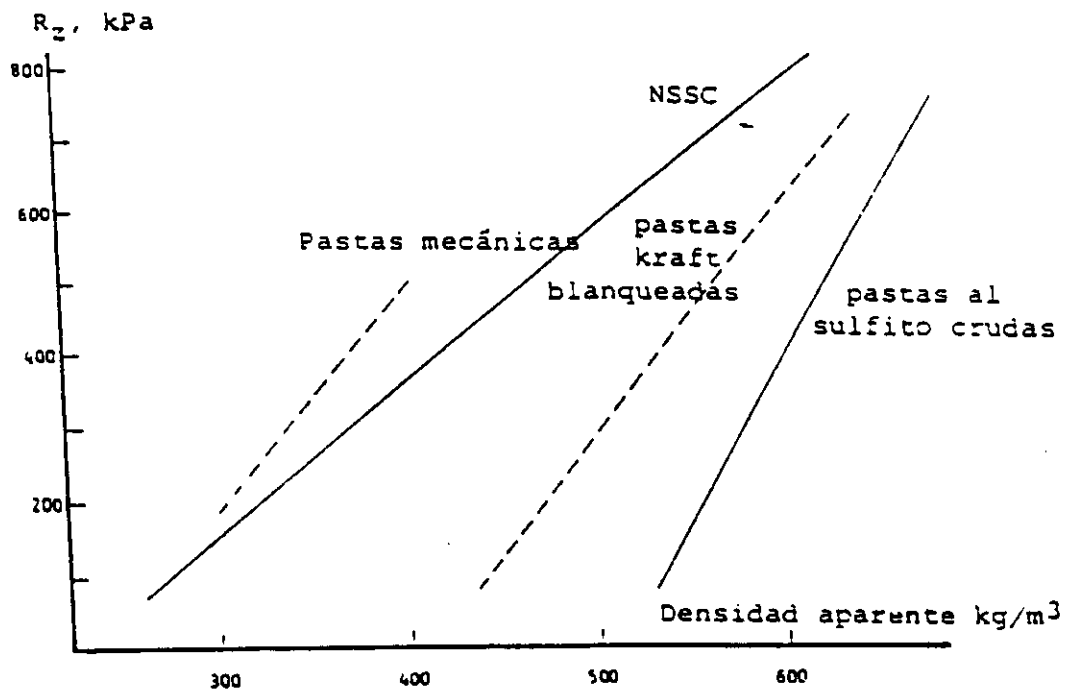


- Esquema de principio de los 2 tipos de ensayo para determinación de  $R_z$

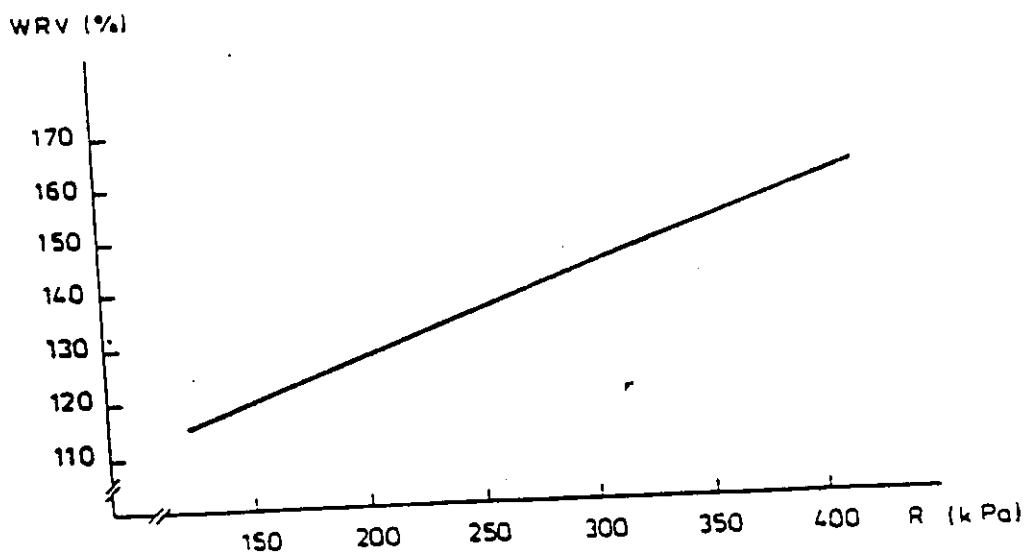
No método "b", um pêndulo mede a energia absorvida para delaminar a folha. O dispositivo consiste em um pêndulo que arranca uma cantoneira metálica, previamente aderida ao papel por fita de dupla-face.

Este método é utilizado pelo aparelho "Scott Internal Bond Tester". Os resultados são expressos em unidades de energia/unidade de área, que no S.I. são  $J/m^2$  (8).

A resistência em direção Z, é determinada pelo número e resistência das ligações inter-fibras na folha, e portanto, é uma importante característica para a qualidade das polpas utilizadas, do grau de refino e prensagem, como na figura abaixo.



Para um mesmo tipo de polpa, existe uma boa correlação entre  $R_z$  e de grau de refino, abaixo caracterizado pelo Índice de Retenção de Água (WRV).



- Correlación entre  $R_z$  y WRV. Pasta: mezcla 50/50 de pino y eucalipto al sulfato blanqueados.

Também é importante para papéis usados em embalagens, a medida da coesão ou resistência superficial. Normalmente esta medida é avaliada pelas ceras Dennison, que possuem índices crescentes de adesividade a superfície. Refere-se à resistência superficial ao número da cera a qual delaminou a superfície do papel. Bons resultados são alcançados com valores acima da cera nº 16 (Dennison 16), ou seja, a ocorrência de problemas de delaminação superficial, ou "pirulito" é praticamente nula acima de Dennison 16.

Também usa-se o "Scuff Test" para avaliar esta propriedade.

### 5.3.1.5 RIGIDEZ

Esta é uma das propriedades mais importantes do papel e principalmente dos cartões.

As embalagens devem resistir a deformações, especialmente quando estão recebendo material e quando recebem cargas de outras embalagens estocadas sobre ela.

Em resumo, esta é mais uma medida da capacidade do papel de resistir a deformações quando é submetido a pressões.

Alguns fatores afetam a rigidez de um papel, como abaixo:

- Espessura
- Módulo de Elasticidade
- Contrações durante Secagem
- Umidade
- Tratamentos Superficiais
- Densidade e Gramaturas
- Orientação das fibras

A rigidez é mensurada através de aparelhos que determinam de deformação produzida por um momento fletor, de onde se origina o termo mais comumente utilizado de rigidez à flexão.

A rigidez à flexão é o produto do módulo de Young ou módulo de elasticidade pelo momento de inércia do corpo de prova.

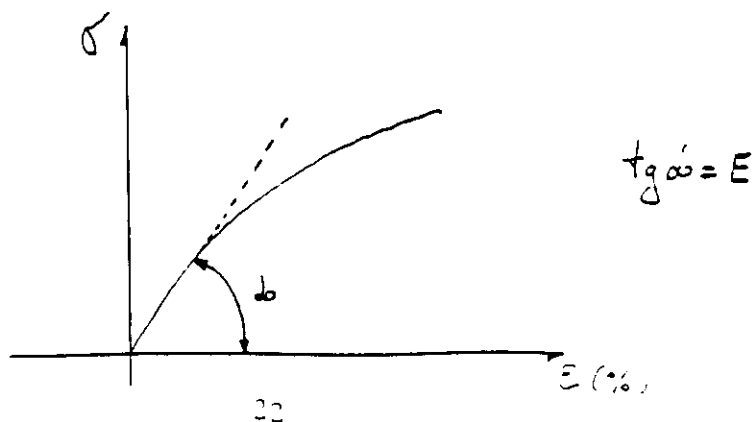
O momento de inércia para um corpo de secção transversal retangular é:

$$I = e^3 / 12, \text{ ou seja:}$$

$$R_f = E \cdot I = E \cdot e^3 / 12$$

Então, a rigidez à flexão é o produto do módulo de elasticidade pela espessura a 3ª potência. Devido a esta relação, a espessura é o fator preponderante no controle da rigidez (2).

O módulo de elasticidade é calculado pela inclinação inicial da curva tensão/deformação.



Valores típicos do módulo de elasticidade são relacionados a seguir :

POLPA	MÓDULO ELASTICIDADE (N/mm <sup>2</sup> )
Pasta Mecânica	1200
Pasta Mecânica Branqueada	1350
Kraft Branqueada (Pinus)	6000
Kraft Natural	5000

Uma maneira prática de aumentar a rigidez em direção máquina é aumentar a tensão da folha durante a secagem, impedindo-a de contrair-se.

O módulo de elasticidade é ainda, bastante afetado pela umidade relativa. Indo de 22 a 85 % de umidade relativa, o módulo de elasticidade pode ser reduzido em até 50 %.

#### APARELHOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÃO

**TABER** - Baseia-se na flexão estática de uma amostra carregada em seu extremo ( princípio da viga balanço). Mede-se com este aparelho o momento fletor que produz uma deformação angular determinada ( 7,5° ou 15,0° em geral) . Baseados no mesmo princípio, existem outros aparelhos (Lorentzen & Wetre, Kentley e Gurley).

**KODAK** - Baseia-se na vibração. A amostra a ser testada é fixada em uma extremidade, que permite a variação do seu comprimento. Varia-se o comprimento da amostra até que esta entre em ressonância a uma dada frequência (25 Hz ). O resultado é então definido pela equação :

$$R_f = 2 \cdot 10^3 \cdot l^4 \cdot W$$

Onde: l = comprimento da amostra no ponto de ressonância  
W = gramatura

Os resultados são expressos em N.m.

#### 5.3.1.6 PERMEABILIDADE AO AR

É a capacidade de um papel em permitir-se atravessar por um fluxo de ar , quando submetido a pressões diferenciais entre sua faces .

Tem ganhado importância no campo de papéis para embalagem, a medida que automatizam-se máquinas de corte e vinco e no seu uso final, embaladoras automáticas. Estas, geralmente tem um cabeçote com vácuo (ventosa) para transportar as caixas para a embaladora. Se o papel for excessivamente permeável, pode ocorrer das ventosas não conseguirem segurar a embalagem.

A permeabilidade também indica como um papel responderá à penetração por outros fluídos (ex:tintas,colas).

Os aparelhos mais utilizados para medir permeabilidade são Bendtsen e o Sheffield, que determinam a vazão de ar ( em mL) que atravessa a superfície do papel. Com aparelho Gurley medimos o tempo (segundos) que leva um papel em ser atravessado por um volume de 100 cm<sup>3</sup>.

### 5.3.1.7 RESISTÊNCIA À ÁGUA

Em geral, a grande maioria dos testes que mensuram a resistência de um papel à água, estão em duas categorias : a) mensura a quantidade de água absorvida por uma amostra em um dado período de tempo ou b) o tempo necessário para que a água penetre em uma amostra ou mesmo que a atravesse.

Na indústria de papéis para embalagem os dois testes mais utilizados são o Cobb Test e o teste da Gota.

Cobb test - Mede a quantidade de água absorvida em uma área definida por uma amostra de papel em um tempo definido. Neste teste, um anel circular de metal é fixado sobre uma amostra previamente pesada, colocada sobre uma superfície metálica recoberta por borracha. Coloca-se água dentro deste anel metálico e deixa-se por tempo determinado ( em geral, 2 min.). Após, retira-se a água com papel absorvente, retira-se o excesso superficial de água e pesa-se a amostra úmida . O resultado é então expresso em gramas de água absorvida por 100 cm<sup>2</sup>.

Teste da Gota - Mede o tempo requerido para que uma gota de água seja absorvida por uma amostra de papel. Existem variações, tais como colocar em lugar de água, uma solução alcalina ( soda a 5%). Em geral, este teste tem melhor correlação quando queremos avaliar o comportamento de um papel em respeito a absorção de cola ou tinta.

### 5.3.1.8 COEFICIENTE DE FRICÇÃO

Esta propriedade é importante, principalmente quando da alimentação das chapas de papelão ondulado às máquinas de conversão e no usuário final, quando da alimentação das embaladeiras.

É importante que a fricção entre as chapas seja baixa o bastante para que os mecanismos de alimentação das máquinas acima citadas possam pegar chapa por chapa. Se a superfície for muito rugosa (alto coeficiente de fricção), corremos o risco de alimentar 2 chapas e se em contrário, o coeficiente de fricção for muito baixo, existe o risco de deslizamento da pilha de chapas ou caixas prontas.

Em geral, mede-se esta propriedade através do ângulo em que uma amostra, previamente unida a um peso padrão, desliza sobre outra amostra do mesmo papel. Pode-se testar direção máquina contra direção máquina ou direção transversal contra direção transversal.



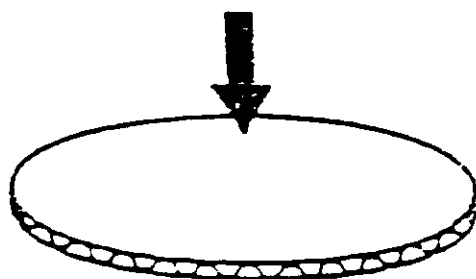
### 5.3.2 PAPÉIS MIOLO

O papel miolo é aquele que forma a onda no processo de conversão. Para isto, este papel é submetido a muitas tensões e deformações sobre condições de elevada temperatura e umidade. Como resultado das tensões a que é submetido, o miolo sofre deformações e deverá reter a forma ondulada após deixar a seção de formação da onda na corrugadeira.

O bom desempenho de um papel miolo, estará referido à capacidade desde em absorver as tensões e deformações, sem que estas causem danos, e a produzir ao mesmo tempo, ondas uniformes.

A mais importante propriedade do papel miolo é a resistência a compressão ou esmagamento que este pode conferir às ondas.

No cartão ondulado esta propriedade é medida pelo FCT (Flat Crush Test), que é o teste de compressão de um disco de papel ondulado, conforme figura abaixo.



FCT  
Flat Crush Test

- Principio del ensayo del FCT

O FCT, dependerá da gramatura e da qualidade do miolo e, do número de ondas por metro linear.

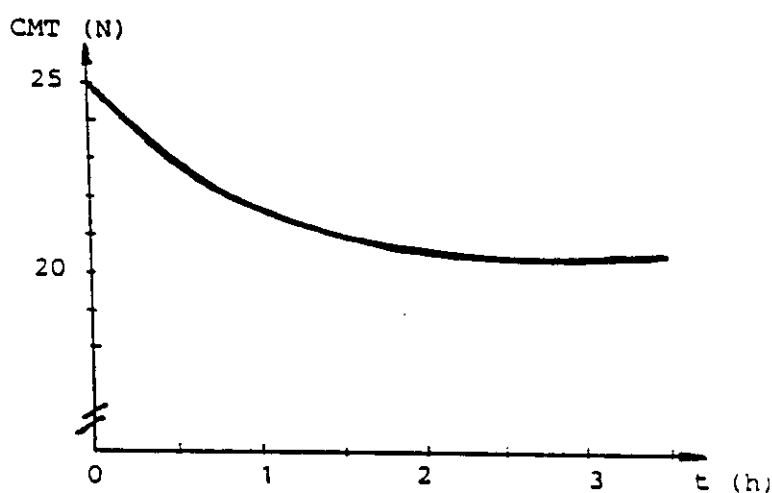
No papel miolo, medimos sua capacidade de resistir ao esmagamento, através do CMT.

### 5.3.2.1 C.M.T.

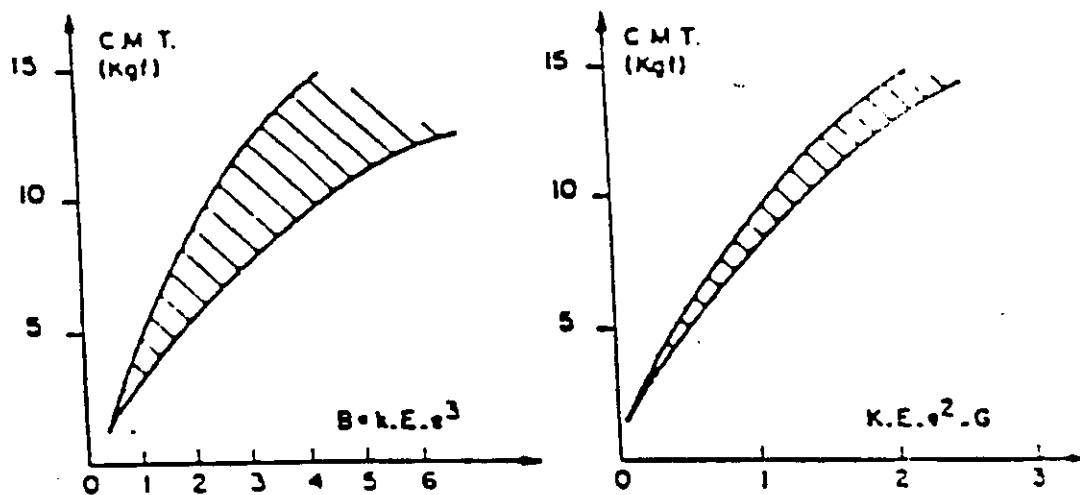
O nome corresponde a sigla Concora Medium Test; Concora é também uma sigla de Container Corporation of America, empresa americana que desenvolveu e normatizou este ensaio (Norma Tappi - T-809).

O ensaio consiste em ondular uma tira de papel de 6"x1/2" em uma ondulateira de laboratório, de forma que obteremos 10 canais de uma onda especial (concora). As amostras são cortadas em direção máquina - ondas em direção transversal, iguais ao processo real. Uma vez ondulado, o papel é fixado em uma das faces por uma fita adesiva - como se fosse uma face simples (cartão simplex) sendo na sequência submetido a um ensaio de compressão. Medimos então o esforço necessário (N) para comprimir até o colapso das 10 ondas.

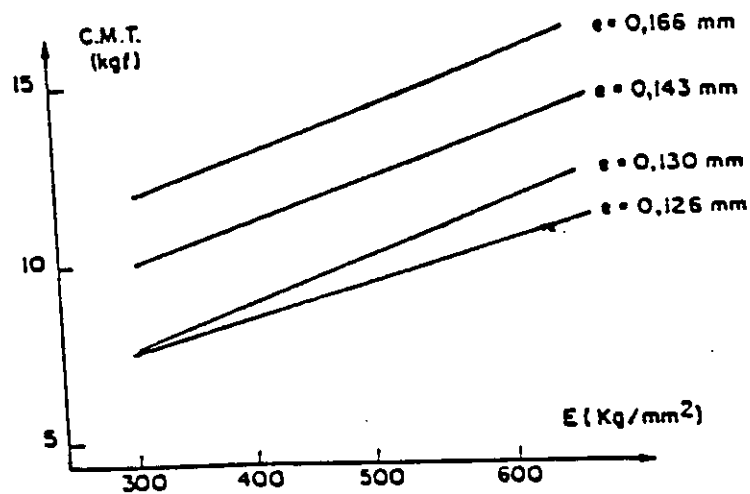
A resistência a compressão das ondas varia ainda em função de tempo transcorrido entre a realização do ondulado e o ensaio de compressão. Por isto, deve-se especificar claramente, os tempos de ensaio : imediatamente ( 0 min) -  $CMT_0$  ; após 30 min -  $CMT_{30}$  ; após 1 hora -  $CMT_{60}$  . Na figura abaixo, mostramos a variação do CMT com o tempo.



O CMT correlaciona-se bem com rigidez e com o módulo elástico, conforme figura abaixo:

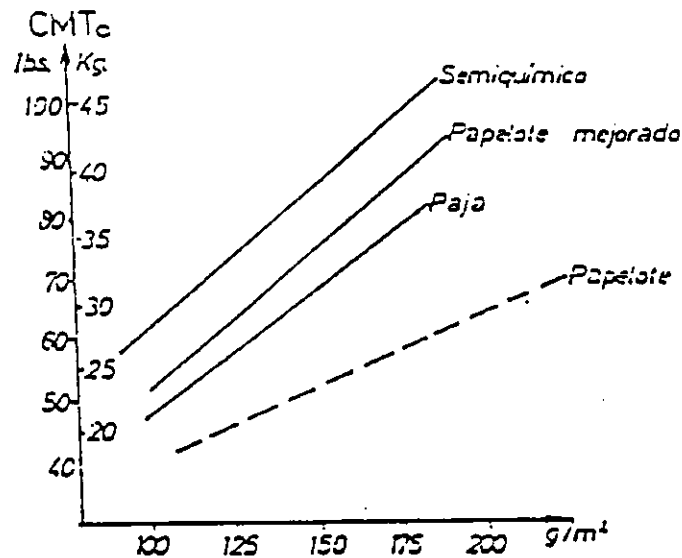


- Variação del CMT0 con la rigidez



- Variação del CMT con el módulo elástico (para distintos espesores del papel)

O CMT também depende sobremaneira da qualidade das polpas. Os melhores resultados são obtidos de polpas semiquímicas, que são bastante superiores ao papel miolo fabricado de aparas.



O CMT<sub>0</sub> tem uma relação linear com o valor do FCT do papelão ondulado:

$$FCT = m \cdot CMT_0 + n$$

onde: FCT - Resistência ao esmagamento (KPa)

CMT - Concora Medium Test (N)

m e n - Coeficientes que dependem do tipo de onda

ONDA	m	n
A	0,69	0
B	0,82	7
C	0,83	8

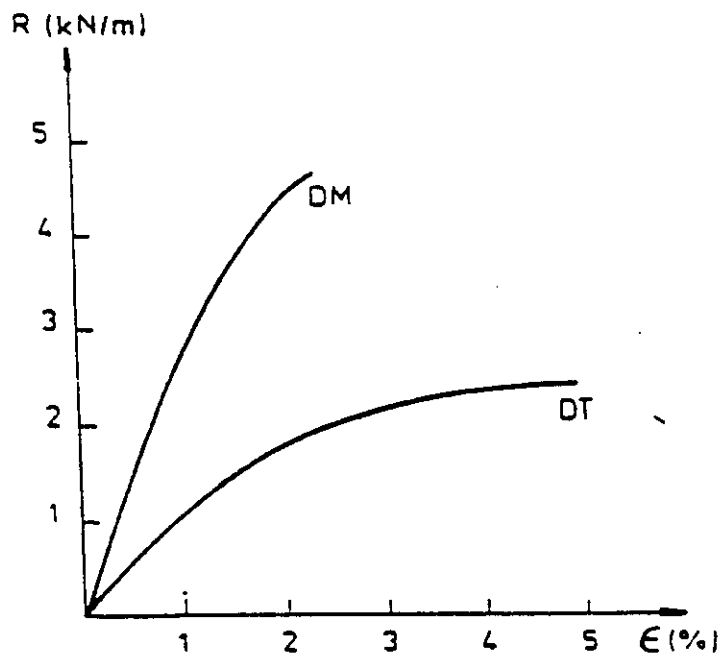
Além do CMT, é também importante o ensaio de CCT (Concora Compression Test), que é o teste de compressão de canto de um papel ondulado (já analisado nos papéis para capas).

## 5.4 PAPÉIS PARA SACOS

Papéis para sacos, em especial sacos multifoliados, devem resistir a impactos. A principal característica a ser medida nestes papéis, aquela que melhor se correlaciona com a capacidade de um papel em resistir a impactos ou absorver tensões é chamada TEA (Tensile Energy Absorption).

### 5.4.1 TEA

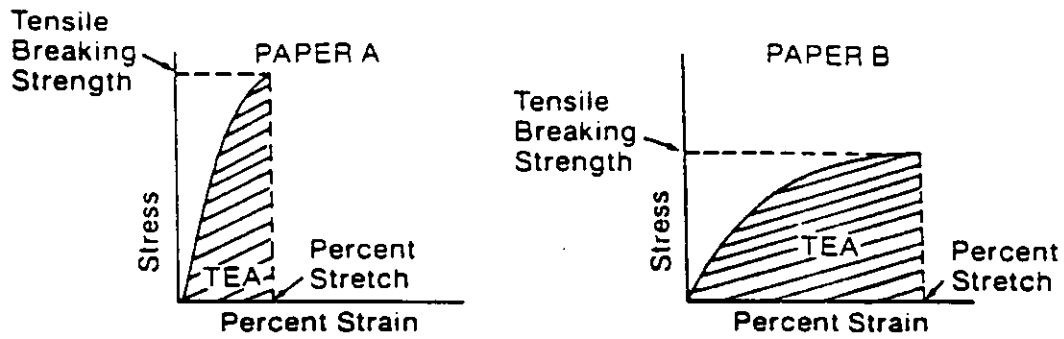
Se em um dinamômetro, acoplado a um registrador, testamos uma amostra de papel a tração, nas duas direções principais (direção máquina - DM) e direção transversal - DT), obteremos curvas chamadas reogramas, análogas à figura abaixo:



.- Reograma típico de um papel.

Desta figura podemos notar que o papel é mais resistente em direção máquina (DM), que em direção transversal (DT), enquanto a elongação em DT é bastante maior que em DM.

Definimos a área sob a curva como TEA, ou seja, o trabalho de ruptura. Também definimos como resistência 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.



Stress-strain curves for two papers. Paper A has the higher tensile breaking length while paper B has the higher percent stretch. In this case, paper B also has the higher tensile energy absorption (TEA).

A área sob a curva tensão-deformação, é proporcional à energia que um papel pode receber até sua ruptura.

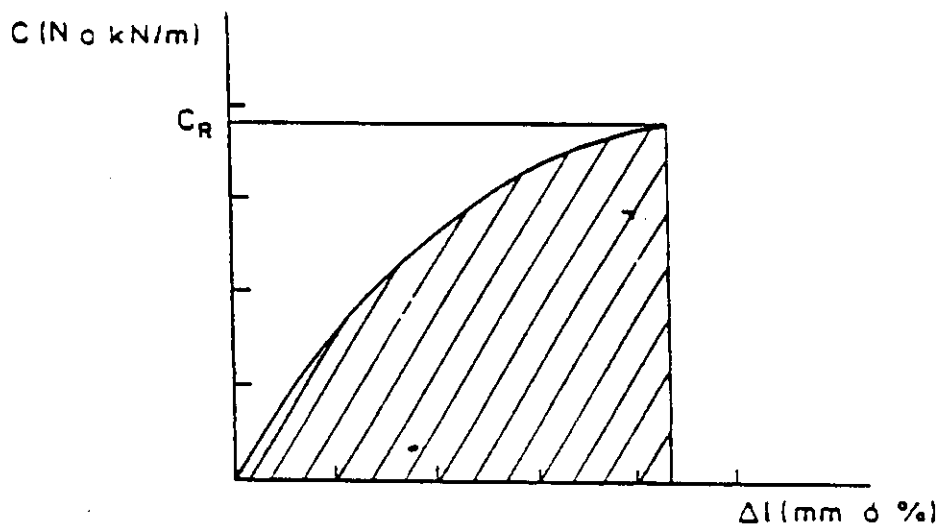
Normalmente expressamos a carga de ruptura em N/m e a elongação em %, então a área sob a curva reograma será expressa como:

$$\frac{N \cdot m}{m \cdot m} = \frac{\text{Joules}}{m^2}$$

Para amostras normalizadas (largura=15mm e distância entre suportes=180mm), a relação entre o trabalho de ruptura ( $T_r$ ) e o valor do TEA será:

$$TEA(J/m^2) = C_e \cdot C_r \cdot \frac{10^3 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}}{15 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}} = 0,37 T_r$$

Sendo  $C_e$  o coeficiente de eficácia ou plenitude, que é a relação entre a área definida pela curva do diagrama e o produto  $C_r \cdot E_{\text{máx}}$ . Isto é, a relação entre a área achurada e a área do retângulo na figura abaixo:

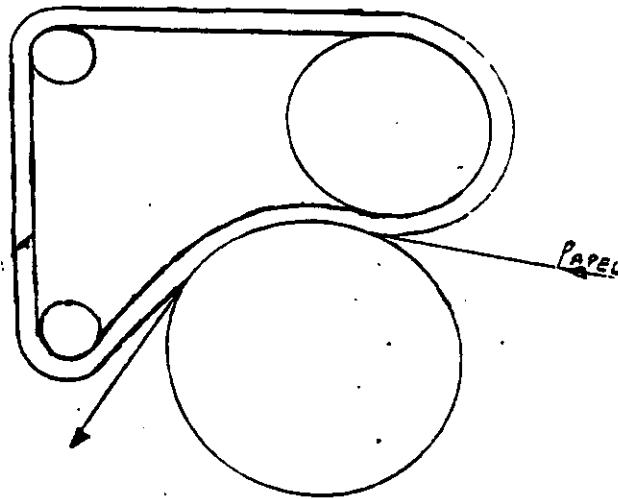


Logicamente, o coeficiente de eficácia ou plenitude variará segundo o tipo de papel, as condições operatórias e ambientais. No entanto, para termos uma idéia aproximada do valor do TEA, podemos considerar os seguintes valores para o coeficiente de plenitude:

- $C_E = 0,88$  - Direção Máquina
- $C_E = 0,75$  - Direção Transversal

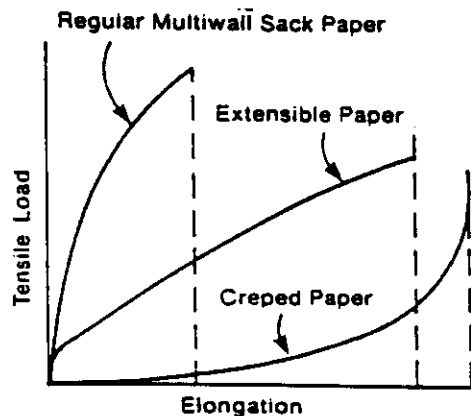
Para uma determinada carga de ruptura, qualquer incremento na elasticidade do papel, incrementará o TEA.

A elasticidade aumentará com o incremento da refinação, em especial a alta consistencia. No entanto, para atingirmos maiores valores de elasticidade, podemos crepar o papel. Um processo especial, chamado "Clupak", confere ao papel microcrepagem durante sua secagem, resultando num papel conhecido como extensível. Com o Clupak, a elongação em direção máquina pode alcançar valores até 3 vezes maiores que os normais.



Unidad Clupak

Na figura abaixo, comparamos os reogramas típicos de um papel para sacos normal, outro de um papel extensível e um de papel crepado. Fica fácil observar que o papel extensível terá um TEA muito maior.



A seguir papéis kraft para sacos:

, está uma tabela com os valores característicos de tração para

Características mecânicas de papéis kraft-sacos (8)

Papel		A	B	C*	D*	
g/m <sup>2</sup>		80	90	104	83	
carga de ruptura (N/15mm)	DM	81,5	93,6	70,9	59,3	
	DT	42,2	47,2	43,8	36,3	
Elongação (%)	DM	2,6	2,7	9,9	8,4	
	DT	6,5	6,5	6,1	8,4	
TEA (J/m <sup>2</sup> )	DM	89,2	106,5	297	209	
	DT	136	145,1	133	151	

\* Papéis extensíveis

Nesta tabela, verificamos a sensível melhora para valores de TEA em papéis microcrepados na direção máquina.



## 6.0 FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE DOS PAPÉIS DE EMBALAGEM DURANTE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Neste tópico procuraremos descrever alguns fatores que influenciarão na qualidade dos papéis para embalagens, como matéria-prima fibrosa, tratamentos prévios à fabricação e características desenvolvidas na máquina de papel.

### 6.1 MATÉRIAS-PRIMAS FIBROSAS

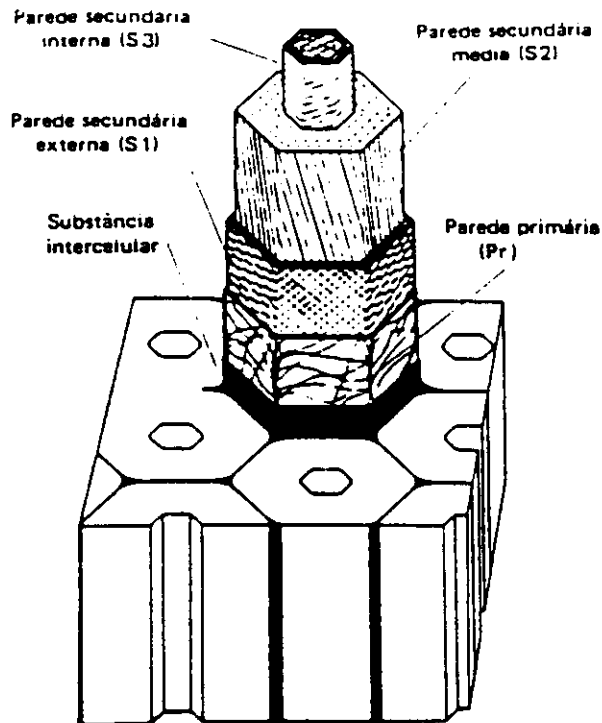
A grande maioria das fibras utilizadas na fabricação de pastas celulósicas, e papéis pertence ao reino vegetal, com grande destaque para as fibras de madeira, provenientes de árvores constituintes de dois grandes grupos, as dicotiledóneas arbóreas (Angiospermae) e das coníferas (Gymnospermae). Estas madeiras são também conhecidas por folhosas (porosas, duras ou hardwoods) e resinosas (não porosas, moles ou softwood) (16).

#### 6.1.1 FIBRAS PROVENIENTES DE RESINOSAS

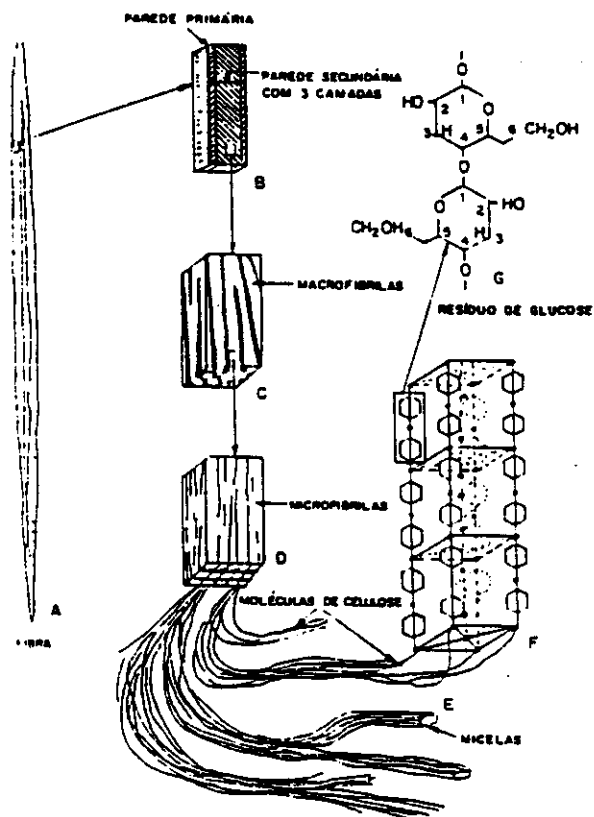
As principais espécies arbóreas fornecedoras de fibras utilizadas no Brasil, são os pinus e araucárias. Pelo menor tempo de crescimento até atingir a idade ideal para corte, o pinus vem se constituindo no principal fornecedor deste tipo de fibras.

Estas fibras são conhecidas como "fibras longas", uma vez que seu comprimento médio está entre 3 e 5 mm. Estas fibras são estreitas e alongadas, apresentando uma estrutura tubular, da onde origina-se sua denominação - traquéias ( de "traquea"-tubo). Tem uma parte oca central, chamada lúmen. Estas fibras tem na madeira uma função estrutural como o de transporte da seiva.

A parede da fibra é composta por várias camadas, correspondentes aos diversos estágios de crescimento da fibra. Estas camadas recebem o nome de P, primária; S<sub>1</sub>, secundária externa; S<sub>2</sub>, secundária média e S<sub>3</sub>, secundária interna ou terciária. A região circundante à fibra chama-se lamela média. A figura abaixo, mostra um esquema das camadas correspondentes da parede da fibra.



A composição predominante da parede celular é a celulose, polímero formado por cadeias de moléculas de glicose ( $C_6H_{10}O_5$ ), unidas entre si por átomos de oxigênio (11). Na figura abaixo, pode-se observar toda a sequência dos correspondentes da parede celular.

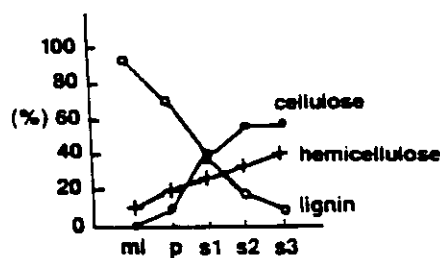


- Formação da fibra de celulose -

A celulose é o elemento estrutural básico das fibras, e é muito importante na definição das propriedades do papel, porque a atração superficial entre as moléculas de celulose de distintas fibras, é a principal fonte de união inter-fibras no papel.

Os demais constituintes das fibras são, hemicelulose, também polímeros, formado por açúcares com 5 átomos de carbono (pentosanos), que também influenciam as uniões inter-fibras e a lignina, que é o agente de ligação entre as fibras da madeira. A lignina é a responsável pela cor marron dos papéis feitos com fibras naturais e, no entanto não participa das ligações entre fibras do papel, ou seja, decrescendo a resistência deste.

A figura abaixo, mostra a distribuição dos componentes químicos na parede celular.



Distribution of chemical components in wood fiber wall

### 6.1.2 FIBRAS DE FOLHOSAS

A principal fonte de fibras de folhosas na indústria papelreira brasileira são os eucaliptos. Nestas fibras, aparecem dois elementos celulares principais, as fibras, cuja missão é estritamente de resistência e os elementos de vasos, que transportam a seiva na madeira.

As fibras de folhosas são em geral, de dimensões menores que as resinosas. O comprimento destas fibras está entre 1 e 2 mm, pelo que são popularmente conhecidas como fibras curtas. Os vasos são maiores e bastante característicos. A proporção em volume de vasos pode ser superior a 50 %, mas proporção em peso é, em geral, inferior a 10 %.



FIBRA CURTA

Abaixo relacionamos as principais diferenças dimensionais entre as fibras curtas (FC) e as fibras longas (FL).

	FC	FL
Comprimento médio de fibra (mm)	1,0	3,0
Espessura da fibra (micras)	12,0	30,0
Massa por unidade de comprimento ( ug/cm)	1,2	2,2

As pastas de fibras curtas dão em geral, menor resistência que as pastas de coníferas, o que está diretamente relacionado com a diferença no comprimento da fibra. No entanto, as fibras curtas têm maior resistência à compressão transversal.

Experiências demonstram que a força para conseguir o colapso do lúmen é proporcional ao fator de forma, S, definido por Luce como:

$$S = d_e^2 - d_i^2 / d_e^2 + d_i^2$$

sendo:  $d_e$  e  $d_i$ , os diâmetros externos e internos.

De acordo com esta expressão, os valores do fator S, para fibras de pinus estão em aproximadamente 0,5 e 0,8 para as de eucalipto (11,12).

Em geral, as propriedades associadas com o grau de enlace das fibras tendem a aumentar com o comprimento das fibras. Parece existir uma correlação bastante boa entre a densidade da madeira e as propriedades do papel. Quanto maior a densidade, menor o comprimento de ruptura e maior o rasgo (12).

A espessura da parede também influi bastante. Fibras com maior espessura dão maior resistência mas no entanto, não refinam tão facilmente.

## 6.2 PROCESSOS DE POLPAÇÃO

O principal processo de polpação utilizado no suprimento de fibras para a fabricação de papéis para embalagem é o processo ao Sulfato, tanto químico como semi-químico. Emprega-se também processos ao Sulfito neutro para a fabricação de papéis miolo e processos de Alto Rendimento em papéis multicamadas.

Estes processos são denominados químico, semi-químico ou de alto rendimento (ou mecânicos) de acordo com a forma de energia utilizada para liberar as fibras. Assim sendo, nos processos mecânicos, a liberação das fibras ocorre-se por aplicação pura de energia mecânica, quer por desfibradores ou refinadores. Em geral, dão rendimentos maiores que 90 %, ou seja, conservam praticamente toda a lignina e em consequência, terão baixa capacidade de enlase (baixa resistência), dando em contra-partida, boa resiliência e bom volume específico.

Nos processos químicos, a liberação das fibras ocorre por solubilização ou reblanqueamento da lignina que mantém unidas às fibras.

Os processos semi-químicos utilizam energia química e parte energia mecânica na industrialização das fibras. Dão rendimentos maiores (entre 65 - 80 %) e resistência menor que os químicos. Tem excelente contribuição nas propriedades de rigidez do papel.

### 6.2.1 - PROCESSO KRAFT OU SULFATO

Os processos químicos de polpação envolvem a cocção de cavacos de madeira com produtos químicos e altas temperaturas e pressões em vasos chamados digestores.

A denominação de processo sulfato não é conveniente, pois faz pensar que o agente ativo de cozimento é o sulfato, quando na verdade são o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio (o sulfato é usado como "make-up" e é reduzido a sulfeto na caldeira de recuperação). (6)

A espécie madeireira utilizada é responsável em grande parte pela qualidade e propriedade da polpa. Como citado anteriormente, as propriedades físicas das polpas de frondosas são, em geral, inferiores às de resinosas.

Desde o ponto de vista das operações de cocção, as diferenças químicas são mais importantes. As frondosas possuem menor conteúdo de lignina e esta é mais acessível, possibilitando uma deslignificação mais rápida e em geral, maior rendimento.

Do ponto de vista de fabricação de papéis para embalagem, uma combinação de polpas de fibras longas e fibras curtas parece ser o ideal. Por um lado temos as melhores propriedades de resistência física nas pastas de fibras longas, que podem ser conjugadas com características próprias das fibras curtas, como melhor formação da folha e melhor resistência à compressão.

No entanto, qualquer que seja a procedência das fibras, as variáveis do processo de cocção que mais afetam as propriedades do papel são: o grau de deslignificação, o grau de degradação das frações de carboidratos e a limpeza da polpa.

O grau de deslignificação é, em geral, indicado pelo "número kappa" (titulação com permanganato de potássio) e nos dará uma idéia de quanto de lignina resta na polpa. Uma polpa semi-química apresenta número kappa superior a 120. As pastas kraft normalmente utilizadas para fabricação de papéis para embalagem estão com números kappa entre 70 e 100. Quanto menor o número kappa, maior a resistência intrínseca das polpas, menor o rendimento e maior a degradação dos hidratos de carbono.

A taxa de degradação pode ser expressa como perdas em viscosidade ou diminuição do grau de polimerização (diminuição das cadeias) dos carboidratos. O tamanho das cadeias de celulose, está diretamente relacionada com a resistência das polpas.

Quanto à limpeza das polpas, devemos vê-la sob dois aspectos: a) remoção dos produtos químicos de cocção e b) ausência de incozidos (cascas, shives, rejeitos, etc.).

A remoção dos produtos químicos utilizados na cocção é feita na operação de lavagem da pasta e pode ser controlada por "índice de perda de reativos" ou por acompanhamento da condutividade das polpas (proporcional à quantidade de íons  $\text{Na}^+$ ).

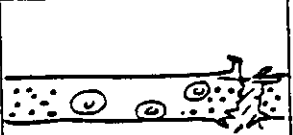


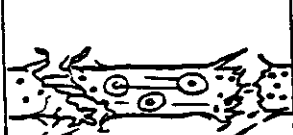


Qualquer que seja o nível de deslignificação que se pretenda trabalhar, o mais importante é que este seja o mais uniforme possível. Qualquer variação no processo de polpação, refletirá diretamente na qualidade final do papel.

### 6.3 - REFINAÇÃO

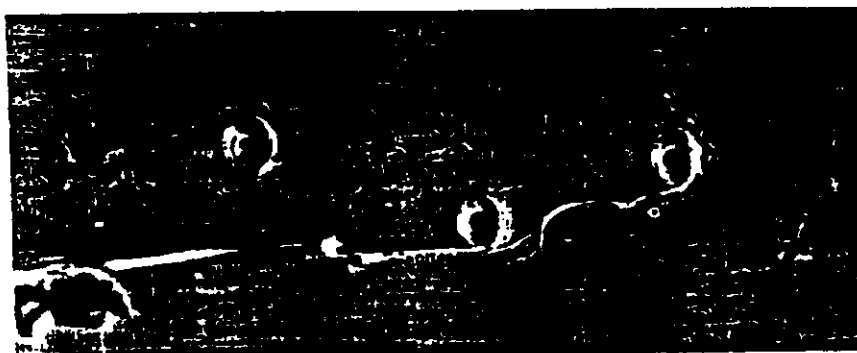
A refinação é uma operação de preparação da polpa, na qual, por intermédio da ação de um trabalho mecânico e um meio aquoso, modificamos a morfologia das fibras e sua estrutura físico-química, com o objetivo de desenvolver algumas de suas características físicas, visando conferir ao papel determinadas propriedades. (13,14)

Durante a refinação, devido ao trabalho mecânico, se rompem e eliminam-se parcialmente as paredes primárias e secundária externa da fibra, permitindo a penetração de água, que provocará seu inchamento e possibilitará a fibrilação interna. Devido a estes efeitos mecânicos, a fibra adquirirá um aspecto desfibrilado, aumentando sensivelmente sua superfície e volume específico, ficando ainda mais flexível e macia.

Alguns efeitos não desejáveis podem ocorrer, como uma diminuição do tamanho das fibras por fratura e a produção de finos ( desprendimento das capas externas e de microfibrilas ).

Corte	Fibrilação externa	Fibrilação interna
		
		
Finos	Finos	Não há finos

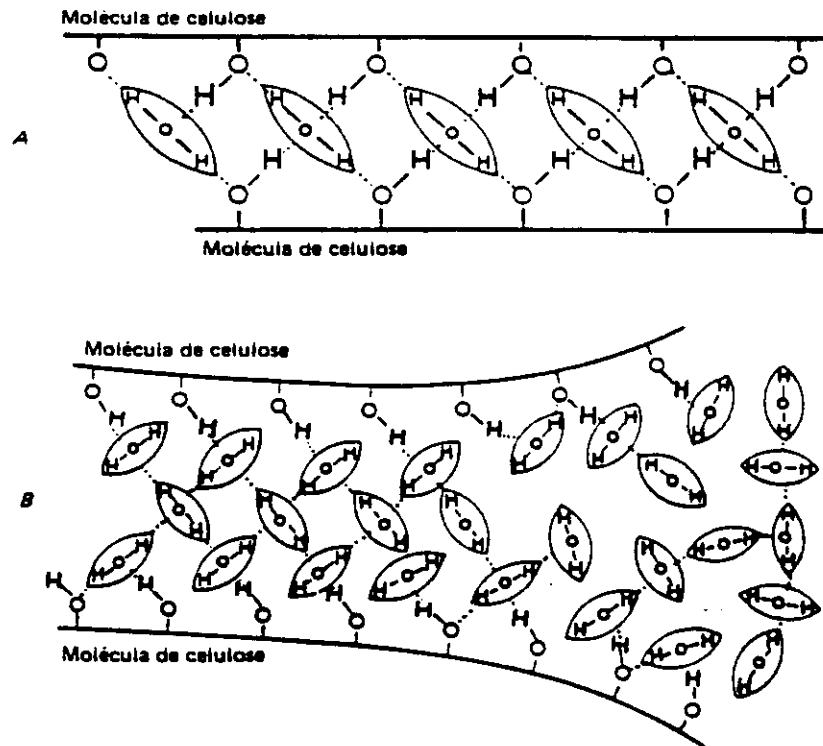
Efeitos da refinação sobre as fibras



- Arrancamento das camadas (S2) e (S3)

Se reconhece como efeitos primários na fibra:

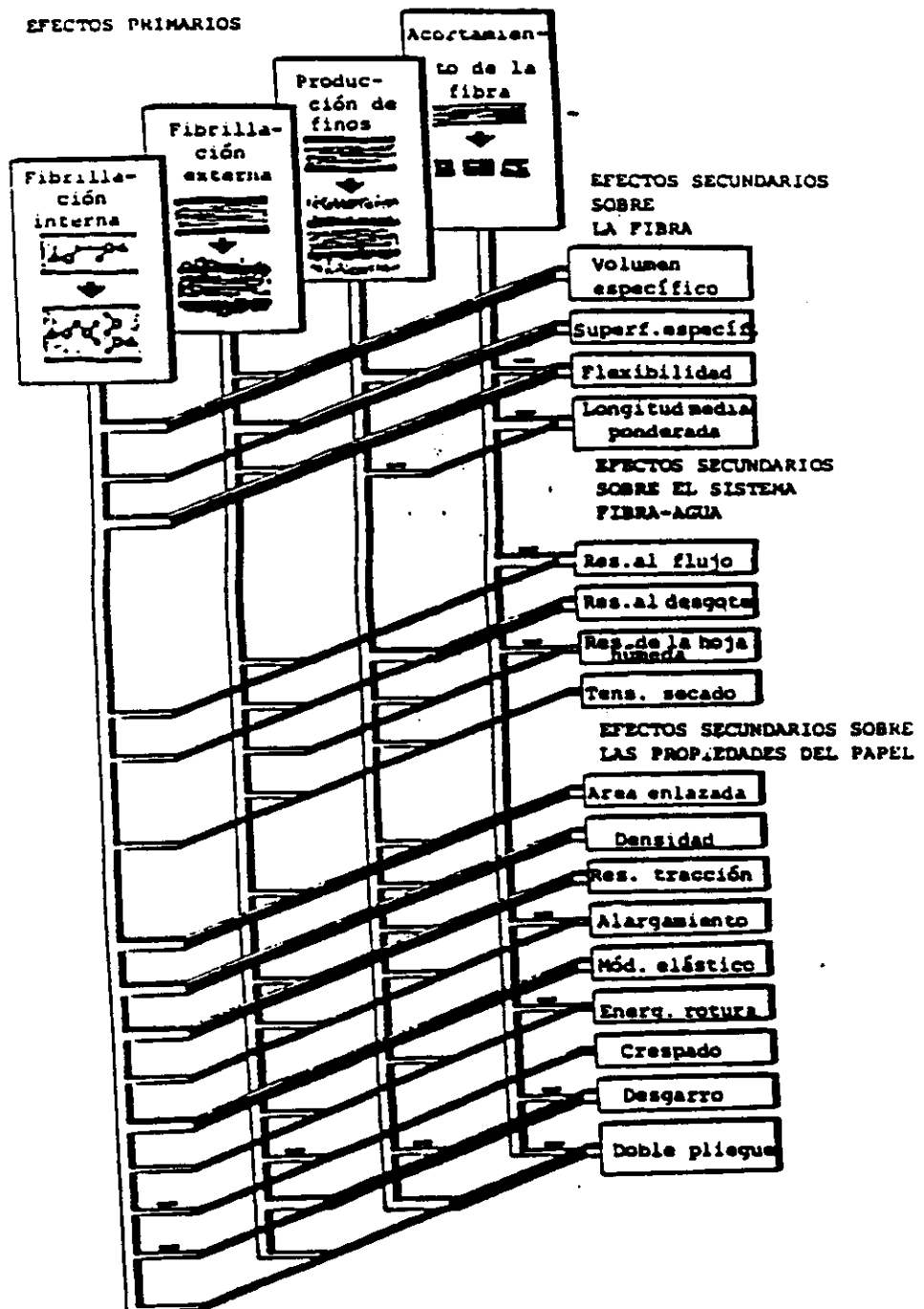
- 1- ruptura das pontes de hidrogênio intrafibras e sua substituição por pontes de hidrogênio fibra-água ( fibrilação interna ) ;
- 2- fibrilação externa;
- 3- formação de finos;
- 4- diminuição do tamanho de fibras.



- Ligações por pontes de hidrogênio. A - através de uma camada de moléculas de água; B - através de várias camadas de moléculas de água

Entende-se por efeitos secundários, outras modificações que ocorrem com a massa, fibras ou papel, devidas à refinação e que podem relacionar-se somente de uma forma complexa com as modificações individuais das fibras.

Na página seguinte, está um esquema dos efeitos primários e secundários da refinação.

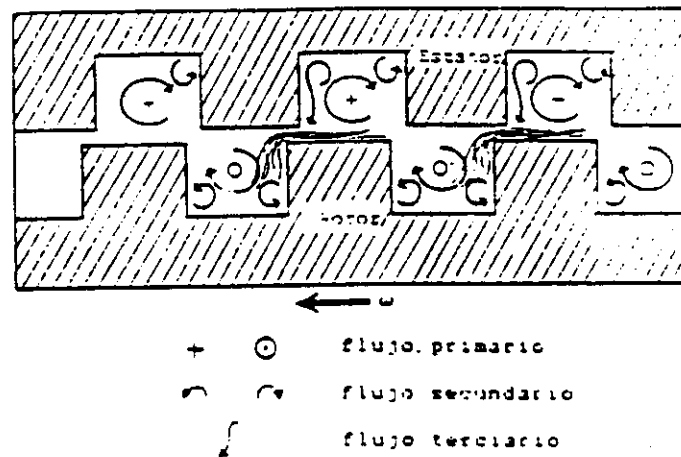


Los efectos primarios se indican de forma idealizada. Una conexión gruesa indica que se considera que el efecto primario tiene una gran influencia sobre el efecto secundario. Una barra de conexión delgada significa una influencia menor. La ausencia de barras no significa necesariamente la ausencia de influencia sino que indica que tal influencia es mucho menor que el resto. Un signo menos indica una influencia inversa.



Na operação de refino, a polpa em suspensão, passa entre duas superfícies sobre as quais existem umas "lâminas ou facas". Uma superfície é fixa ( estator ), enquanto a outra se desloca com um movimento perpendicular ao eixo das facas ( rotor ), de maneira que as fibras situadas entre ambas sofrem corte, esmagamento e fricção entre si e contra as guarnições do equipamento.

Os fluxos no interior dos canais são ilustrados na figura abaixo:



### 6.3.1 - PARAMETROS QUE INFLUEM NA REFINAÇÃO

#### 6.3.3.1 - TIPO DE POLPA

A influência das operações de cozimento no refino, estão relacionadas à quantidade de lignina e hemicelulose que tenham sido eliminadas e o grau de degradação dos hidratos de carbono remanescentes na polpa.

A lignina não se hidrata e impede a penetração de água às zonas internas da fibra, onde estão os hidratos de carbono. Em geral, pode-se dizer que um alto teor de lignina, como no caso das polpas não branqueadas, faz com que as fibras sejam rígidas e quebradiças, pelo que refinarão mal e tenderão a romper-se.

Outro fator que afeta a aptidão da polpa ao refino, é a secagem prévia da mesma. Polpas que não tenham sido submetidas a secagem, refinam melhor. Quando são secadas, as fibras se modificam devido às altas temperaturas e ocorrem fechamentos de microporos da parede da fibra, diminuindo sua facilidade de hidratação.

### 6.3.1.2 - pH

Como idéia geral, podemos indicar que o pH ácido prejudica a refinação por:

- diminuir o potencial eletrocinético;
- diminuir a tensão superficial;
- aumentar o número de cátions.

Pelo contrário, em pH alcalino, existe um favorecimento à refinação, pois :

- aumenta o potencial eletrocinético;
- aumenta a tensão superficial;
- diminui os cátions.

O pH ideal para a refinação está entre 8,0 e 8,5. Se o valor for muito alto, pode ocorrer degradação da polpa por hidrólise alcalina, dependendo do tempo de estocagem ( em geral, só é significativo após 20 horas ).

Quanto maior o potencial eletrocinético, menor a possibilidade de que se produzam floculações entre as fibras ( maior repulsão ).

Quanto maior a tensão superficial, maior será a retenção de água e maior o inchamento.

A menor presença de cátions, facilita a repulsão entre as fibras, uma vez que estas são aniônicas ( menor neutralização de fibras ).

### 6.3.1.3 - TEMPERATURA

O aumento de temperatura afeta negativamente o refino, pois esta influi no inchamento das fibras, que é uma reação exotérmica, ou seja, uma diminuição na temperatura aumentará a capacidade de hidratação.

A temperatura da massa aumenta consideravelmente durante a refinação, devido à conversão de parte da energia mecânica em calor. Não é interessante refinar acima de 50°C.

### 6.1.3.4- CONSISTÊNCIA

A consistência da massa deve manter-se a mais elevada possível a fim de se reduzir perdas por bombeamento e aumentar a interação entre fibras, que trará menores deformações às fibras e menores formações de finos.

### 6.3.1.5- VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DOS DISCOS

Para refinadores de discos, a velocidades tangenciais inferiores a 20 m/s, haverá uma ação predominante de corte. Acima de 25 m/s, o efeito predominante será de fibrilação. Entre estas velocidades, o efeito será misto. Para refinadores cônicos, em velocidades entre 14 e 17 m/s, haverá corte e fibrilação e abaixo de 14 m/s, haverá corte. (13)

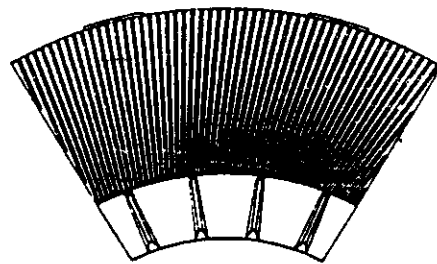
### 6.3.1.6- CARACTERÍSTICAS DOS DISCOS

Para refinação em baixa consistência, a melhor maneira de se alcançar bons resultados é conseguir que esta seja de baixa intensidade.

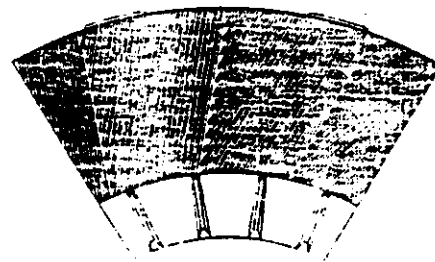
A refinação de baixa intensidade dará ótimo desenvolvimento das fibras por um tratamento suave destas, com boa formação de uma manta fibrosa entre os discos, resultando numa melhor interação entre fibras e maior distanciamento entre discos.

A maneira mais eficiente de se conseguir a refinação de baixa intensidade é com discos que tenham o maior número possível de bordas, mas que ainda mantenham boa capacidade hidráulica e boa resistência mecânica nas lâminas.

A configuração das lâminas é em geral de dois tipos: paralelas e radiais.



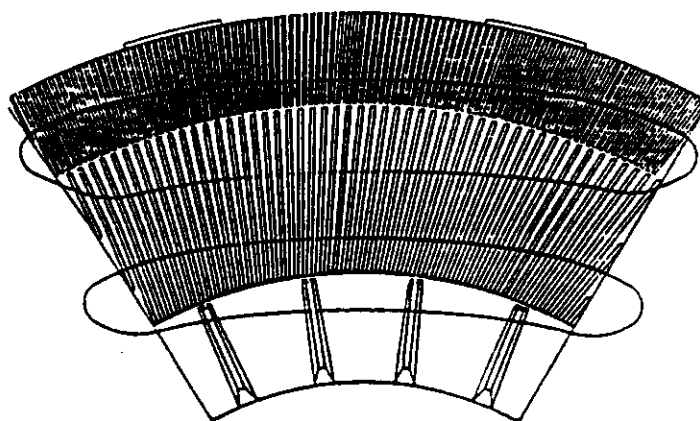
RADIAL BAR (10")  
2 - 4.8 - 4 AT O.D.  
2 - 2 - 4 AT I.D.  
20.75 KM/REV



PARALLEL BAR (10")  
2 - 2 - 4 AT O.D.  
2 - 2 - 4 AT I.D.  
20.75 KM/REV

BAR CROSSINGS PER PAIR

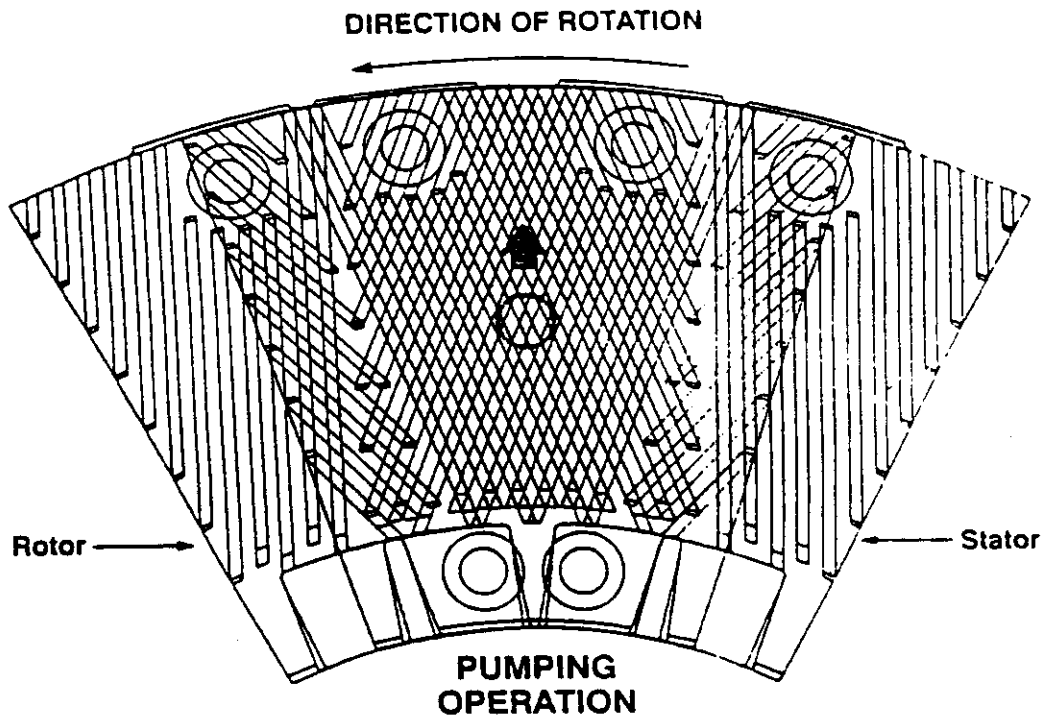
As configurações de lâminas paralelas darão maior número de cruzamentos de bordas ( maior Km/revolução ), pois para as lâminas com desenho radial, a geometria faz com que as lâminas ou espaçamentos tenham que ir alargando-se. As dispostas radialmente dão maior bombeamento que as paralelas, para a mesma largura dos canais no diâmetro interno. Para diminuir as deficiências em desenhos de discos de lâminas dispostas radialmente, é comum utilizar desenhos com múltiplas zonas, que no entanto, aumentarão a possibilidade de entupimento, que geralmente ocorre nas zonas de transição . (15)



#### DISCOS COM MULTIPLAS ZONAS

O ângulo é outra variável importante. Em geral, quanto menor o ângulo, as áreas de intersecção serão um pouco maiores, mas, no entanto, quanto maior o ângulo, maior a capacidade de bombeamento.

O bombeamento, que pode ser monitorado pela diferença de pressão de entrada e saída do refinador (  $P$  ), é um excelente indicativo do tempo de retenção entre placas, da proximidade do rotor/estator e da capacidade de alcançar ótimas propriedades nas fibras. Quanto maior for a pressão diferencial, mais próximo estarão os discos e maior será o dano às fibras. Maiores diferenciais, também aumentarão a velocidade da massa através do refinador, reduzindo o tempo de retenção e a turbulência.(16) Também, diferenciais muito baixos ou até negativos, são sinais de desgaste acentuado das guarnições ou de erro de dimensionamento hidráulico da planta.



*The points of bar intersection move towards the discharge of the plates. "with" the centrifugal force.*

A intensidade de refinação requerida deverá determinar a relação largura da lâmina/volume do canal, embora estes canais possam ser alterados para suprir a vazão de massa que passa pelo refinador .(16)

#### 6.3.1.7- POTENCIA APLICADA

É a potência absorvida por um refinador à medida que aumenta a pressão das lâminas.

Potência Efetiva, é aquela absorvida apenas pela refinação, descontando-se da potência aplicada a potência necessária para o bombeamento.

Energia Específica é definida como a potência aplicada por tonelada de polpa ( KWh/t).

### 6.3.1.8- CARGA ESPECÍFICA DE BORDA

Esta teoria descreve, numericamente, a natureza da ação da refinação em equipamentos de baixa consistência, e é definida como a potência efetiva dividida pelo comprimento de corte das lâminas por unidade de tempo, como a fórmula:

$$Bs = Pt - Po / Ls$$

onde: Bs - carga específica de borda, em Ws/Km  
Pt - potência total consumida pelo refinador, em W;  
Po - potência consumida pelo refinador em vazio, em W;  
Ls - comprimento de corte das lâminas por unidade de tempo, em Km/s.

Ls é dado por:

$$Ls = n . Zr . Zst . L / 60$$

onde: n - número de rotações por minuto  
Zr - número de lâminas do rotor  
Zst - número de lâminas do estator  
L - comprimento efetivo das lâminas (Km)

### 6.3.2- DETERMINAÇÃO DO GRAU DE REFINAÇÃO

Os métodos mais difundidos, avaliam o grau de drenabilidade de uma suspensão de fibras. Aqui no Brasil, utiliza-se mais o método Schopper-Riegler ( °SR ) . É também muito utilizado o método Canadian Standard Freeness ( °CSF ) , principalmente na América do Norte.

O princípio do método Schopper-Riegler, consiste em fazer drenar uma suspensão fibrosa de 2 g/L, através de um manto fibroso, que irá formando-se sobre uma tela e medir o volume que transborda de um cone provido de um orifício calibrado.

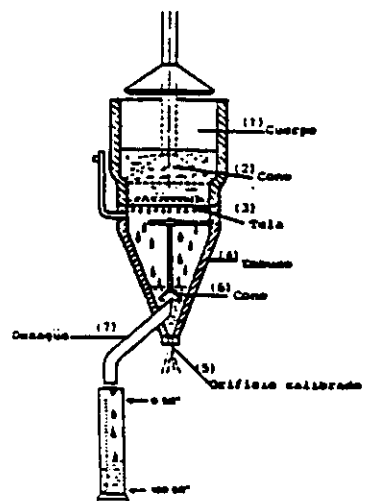
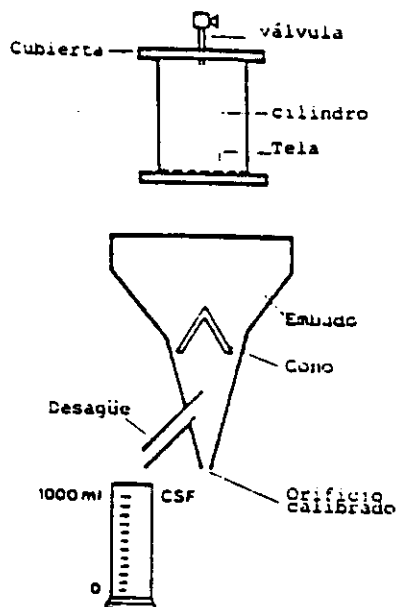


Fig. 1 - Sistema de medição Schopper-Riegler.

O método Canadian Freeness é análogo ao anterior, e para polpas definidas, apresentam boa correlação. As principais diferenças são a consistência empregada ( 3 g/L ), a formação de uma pré-camada e que o °CSF expressa o volume -mL- recolhido em uma proveta ( no °SR é o volume -cL- complementar a 1 L recolhido na proveta ). (13)



Estes índices, no entanto, refletem a ação conjunta de muitos fatores, como o grau de hidratação, a fibrilação externa, o comprimento médio, a proporção de fibras e finos e etc. Ou seja, suspensões de mesmo °SR, podem ter diferentes características de refinação em função do tipo de pasta, refinador ou condições empregadas.

Uma outra maneira de avaliar o efeito da refinação sobre as fibras é a medida do Valor de Retenção de Água ( WRV ), que mede a capacidade de hidratação das fibras ou seja de sua fibrilação interna. Este método baseia-se na centrifugação ( 3.000 G por 15 min ) de uma amostra de polpa .

$$WRV = \frac{\text{Peso centrifugado} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

Em geral, a retenção de água aumenta com o conteúdo em hemicelulose ( que facilitam a hidratação ) e o refino.

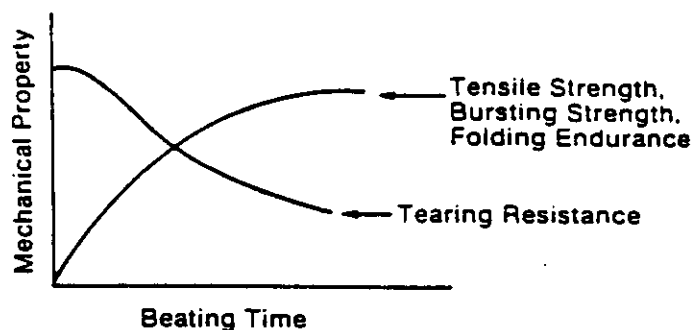
### 6.3.3- INFLUÊNCIA DA REFINACÃO

A refinação será uma fundamental na fabricação do papel. Seu resultado será sentido tanto na qualidade do papel, como no andamento da máquina.

Com o aumento da refinação, melhoram os testes físicos do papel ( tração, estouro, resistência superficial ) embora, valores acima de 40 °SR para polpas kraft, comecem a derrubar estes testes.

Aumentando-se a refinação, também sentiremos que o desaguamento na mesa plana diminui, o que pode ser sentido pela elevação dos níveis de vácuo do rolo couch ou caixas de sucção e em consequência, necessitaremos maior consumo de vapor na secaria

Em resumo, quanto mais energia aplicarmos à polpa, mais energia necessitaremos para remover água da folha.



### 6.4 - PREPARO DE MASSA

Esta fase do processo engloba a refinação, já comentada, a depuração, o controle de consistência, a diluição na bomba de mistura e a adição de produtos químicos.

A depuração é utilizada para separar elementos indesejáveis à fabricação do papel. Em geral, pode ser de dois tipos:

**PROBABILÍSTICA**- utiliza peneiras com furos cônicos ou ranhuras, e separa os materiais por tamanho.

**CENTRIFUGA** - utiliza depuradores dinâmicos, que separam as frações por densidade através de centrifugação. Separa os contaminantes mais densos que a polpa.

As etapas da preparação de massa, influem principalmente na uniformidade do papel, posto que variações nestas etapas, incutirão certamente variações no papel.

As chamadas variações longitudinais no papel são praticamente oriundas desta seção, quer variações de baixa frequência (causadas por variações de consistência ou pH) ou variações de alta frequência (pulsações), causadas por bombas ou depuradores.



A automação desta parte é essencial para conseguirmos uniformidade no papel, principalmente em controles de níveis de tanques, controles de consistência, pH e fluxos, com a colocação de equipamentos desaeradores e que amortizem pulsos ( atenuadores).

Também o correto dimensionamento de tubulações, tanques, caixas de nível e manifold são importantes para conseguirmos a melhor uniformidade operacional possível.

## 6.4 - MATÉRIAS-PRIMAS NÃO FIBROSAS

Incluimos neste tópicos aditivos e produtos químicos de controle.

As principais matérias-primas não fibrosas utilizadas na fabricação de papéis para embalagens são: os agentes de colagem, agentes de resistência em seco e agentes de resistência a úmido, que podem ser considerados como aditivos funcionais ( aqueles que incrementam propriedades existentes ou conferem uma nova propriedade ao papel ) e aditivos de auxílio ao processo ( que auxiliam na limpeza e desempenho da máquina ), como: agentes de retenção, agentes de controle microbiológicos, agentes de drenagem e controladores de pitch.

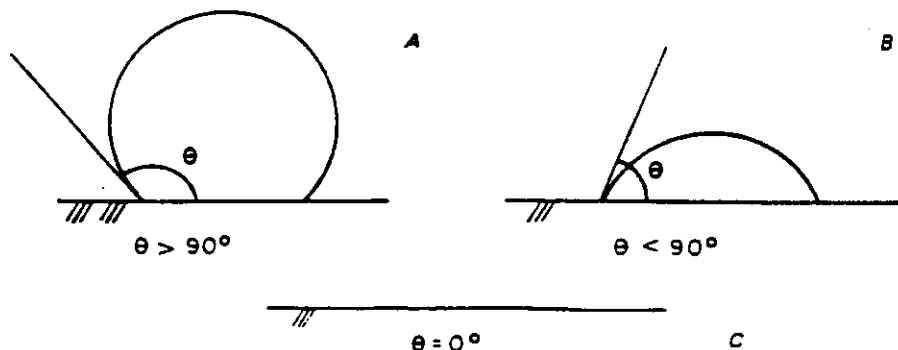
### 6.4.1 - ADITIVOS FUNCIONAIS

#### 6.4.1.1-AGENTES DE COLAGEM

A colagem deve conferir ao papel, resistência a penetração de água.

As fibras celulósicas são extremamente absorventes. Os agentes de colagem devem reagir com a superfície da fibra e diminuir sua energia superficial, que reduzirá a atração entre a superfície da fibra e a água e reduzirá a taxa de penetração da água na estrutura do papel.

Os agentes de colagem empregados, estão intimamente ligados ao pH de trabalho do sistema.



- Afinidade entre o sólido e líquido. A - pouca afinidade e alta repelência; B - afinidade média; C - alta afinidade, "molhamento"

O sistema mais empregado é a colagem a pH ácido ( 4,5 a 5,0 ) , com colas de breu e sulfato de alumínio.

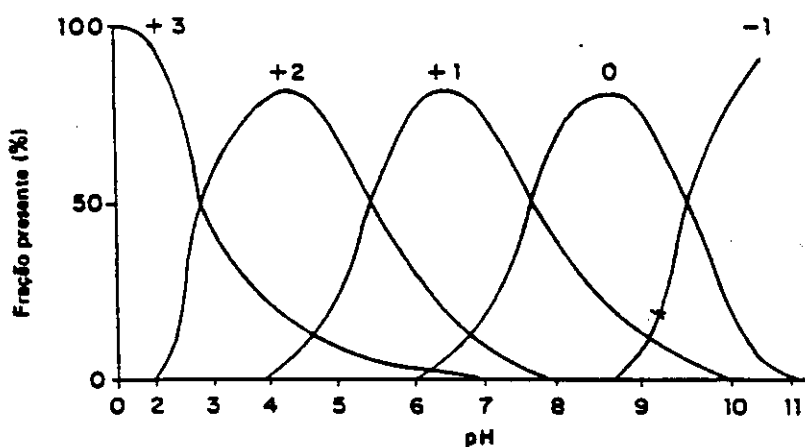
A prática usual é adicionar a cola de breu à suspensão fibrosa e após conseguir-se boa dispersão desta sobre a suspensão, adiciona-se sulfato de alumínio, que reagirá com a cola, formando um resinato de alumínio que precipitará e aderirá às fibras.

Embora ainda esbarrando em questões de custo, a uma tendência em procurar obter a colagem a pH mais elevado, próximo ao neutro.

Colas fortificadas de breu, já chegam a colar a pH 5,5 a 6,0.

Com a utilização de doadores catiônicos como o cloreto de polialumínio ( PAC ), em substituição parcial ou total ao sulfato de alumínio- que só é trivalente catiônico a pH menor que 4,0 ( ver figura abaixo), consegue-se chegar, mesmo com cola de breu saponificada ( R-COONa ) colagem a pH 5,5.

O PAC está permitindo obter-se, com colas de breu modificadas, bons resultados a pH próximos ao neutro, pois ainda mantém alta carga catiônica mesmo em pH alcalino e não forma hidróxido de alumínio insolúvel tão rapidamente como o sulfato de alumínio. Em geral, o PAC tem 2 a 3 vezes mais  $Al_2O_3$  que o sulfato de alumínio.



- Distribuição iônica das espécies de alumínio em relação ao pH do meio"

Embora com evidente ganho em qualidade, por trabalhar-se a pHs maiores ou neutros, muito deverá ser trabalhado para conseguir-se custos competitivos; devido a isto, colagens com colas sintéticas, como os dímeros de alquil ceteno ( AKD ) ou de anidrido succínico ( ASA ), só são viáveis em papéis que necessitam alta resistência a penetração de líquidos, como papéis para a embalagem de líquidos- envase de leite, sucos , vinho, etc.

#### 6.4.1.2- AGENTES DE RESISTÊNCIA EM SECO

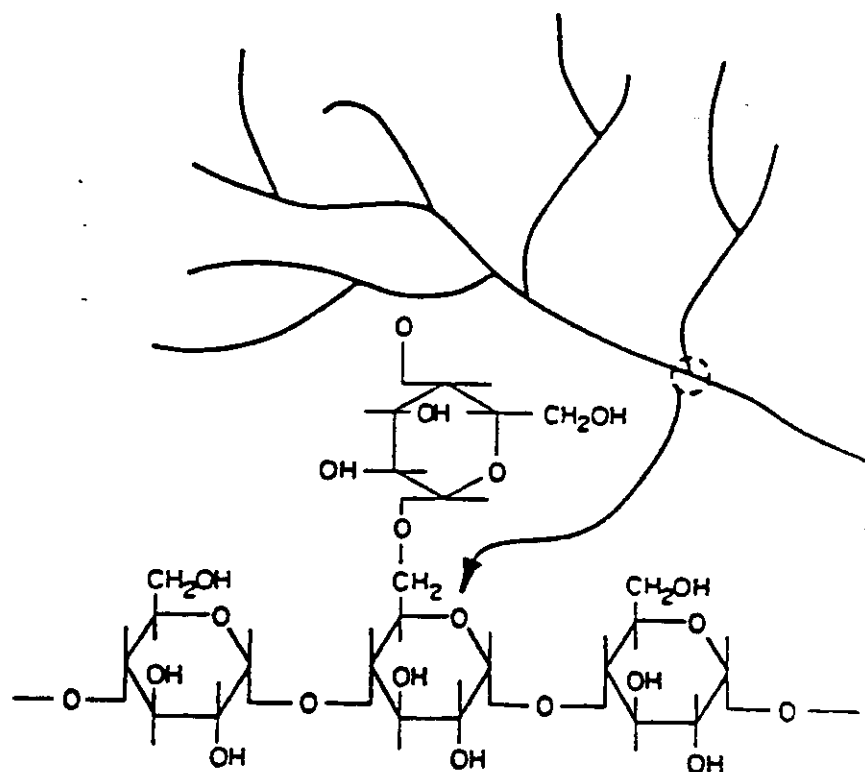
São agentes empregados para aumentar a resistência do papel após secagem, geralmente incrementam propriedades como estouro, tração, coesão interna e previnem a geração de pó ou soltura de fibras superficiais.

Os aditivos mais empregados nestes casos são amidos catiônicos ou anfóteros e polímeros de poliácridamida.

Estes agentes agem aumentando a resistência de ligações inter-fibras e em consequência a resistência.

O amido necessita ser cationizado, pois tem a mesma composição que as fibras celulósicas e é aniônico (como as fibras). Incorporando-se ao amido grupos catiônico, estes lhe conferirão carga positiva, e assim poderá unir-se fortemente às fibras.

O amido é mais de 20 vezes mais usado que as poliácridamida, pelo seu preço altamente competitivo.



Amylopectin schematic. (From Symposium Proceedings: *Products of the Wet Milling Industry in Food*. Corn Refiners Association, Washington, D.C., January 27, 1970. III-15.)

### 6.4.1.3- AGENTES DE RESISTÊNCIA EM ÚMIDO

São extremamente importantes em muitos papéis para embalagem ou sacos, principalmente aqueles usados em câmaras frigoríficas ( frutas, carnes, etc. ), e que portanto devem resistir sob condições de alta umidade.

Como sabemos, as fibras tem alta afinidade à água; em presença de água tendem a interagir com ela, em lugar de fazer ligações umas com as outras.

Os agentes de resistência em úmido, são usados para reforçar as ligações inter-fibras contra a ação da água.

Um papel é dito como "resistente em úmido" quando retém pelo menos 15% de sua resistência em seco, ao estar completamente saturado com água.

Os agentes empregados, são geralmente altamente catiônicos. Os mais empregados são- para pH ácido: Uréia formaldeído e Melamina formaldeído, e para pH neutro ou alcalino: a Poliamina - Poliamida-Epicloridrina ( PPE ).

O uso destes agentes, sempre acusarão traços de formaldeído livre ( no caso de Uréia e Melamina-formaldeído ) e de traços de compostos organo-clorados da Epicloridrina.

## 6.4.2 - ADITIVOS AUXILIARES DE PROCESSO

### 6.4.2.1- ANTIESPUMANTES

Previnem o excesso de formação de espuma nos circuitos prévios à caixa de entrada e durante a formação da folha.

São agentes que atuam basicamente baixando a tensão superficial do meio e impedindo a formação de espuma. Geralmente são compostos por alcoóis de cadeia longa, ésteres e amidas de ácidos graxos.

### 6.4.2.2- AGENTES DE RETENÇÃO

Nota-se nos últimos anos um incremento no uso de agentes de retenção, mais que qualquer outro aditivo, devido a uma combinação de uma série de fatores: aumento da velocidade das máquinas, formadores com telas duplas e uso de reciclados.

As maiores tendências, são do uso de polieletrólitos catiônicos. As poliacrilamidas e polietileniminas ( PEI ) são os mais usados, embora o uso de sílica coloidal, combinada com amidos catiônicos, comece a crescer.

O uso de agentes de retenção e drenagem, passa pelo controle de cargas da parte úmida, e pelo aumento da retenção de finos, com a consequente micro-floculação das fibras e o aumento da drenagem.

O controle da densidade de cargas do sistema, por titulação com polieletrólitos, é o método mais importante de caracterização de agentes de retenção iônicos. Polieletrólitos catiônicos e aniônicos, formam complexos estequiométricos em soluções aquosas, caracterizadas por uma interação 1:1 entre os centros de cargas negativa e positiva.

Também pode-se determinar a densidade de carga por potenciometria ( potencial zeta ) e por condutimetria.(17)

A densidade de carga variará com a variação do pH, da adição de polieletrólitos e a presença de íons no sistema.

## 6.5- CAIXA DE ENTRADA E FORMAÇÃO DA FOLHA

Após a etapa de preparo de massa, a suspensão fibrosa é extremamente diluída ( 0,5% de consistencia ) e enviada à caixa de entrada, que terá por função primária, produzir a distribuição desta suspensão uniformemente sobre uma tela sem fim, na velocidade desta. O sucesso ou fracasso de uma caixa de entrada, virá pela sua capacidade de uniformizar o máximo possível este fluxo sobre a tela e ainda, que as fibras não saiam formando flocos do interior da caixa, o que daria ao papel uma formação irregular. Ainda, a caixa de entrada, afeta as características direcionais da folha de duas formas:

1<sup>o</sup>. a aceleração da suspensão na região do lábio, faz com que muitas fibras rotacionem e fiquem com seus eixos longitudinais paralelos à direção de fluxo. Este é o efeito maior, e produz uma orientação preferencial encontrada nos papéis.

2<sup>o</sup>. o fluxo à saída da caixa, não estará à mesma velocidade da tela formadora, o que também afetará a orientação de fibras. Por exemplo, se a suspensão fibrosa tem velocidade inferior à da tela, a tela tenderá a alinhar as fibras em direção máquina . Inversamente, se o fluxo de massa tem velocidade maior que a da tela, as fibras serão "freadas"quando atingirem a tela e tenderão a atravessar (orientar-se em direção transversal). Na prática, a relação entre a velocidade da massa ou do jato(  $V_j$  ) e a velocidade da tela (  $V_t$  ), estará próxima a 1,0 , o que significa que a maior contribuição para a orientação das fibras é dada pela aceleração/ orientação no lábio. (2)

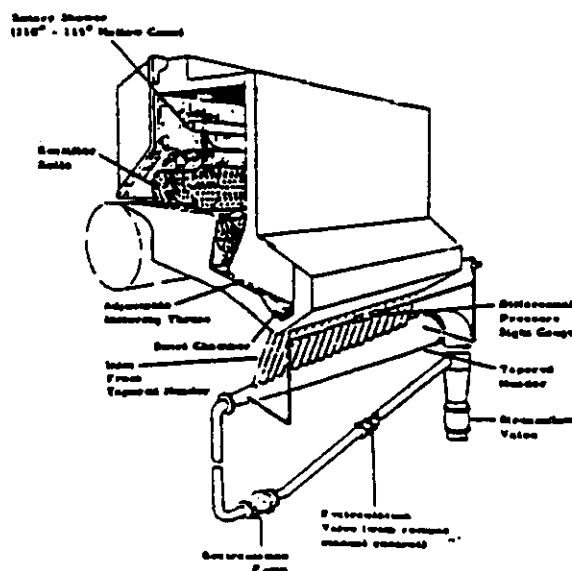
Em geral, as caixas de entrada são formadas por 3 seções :

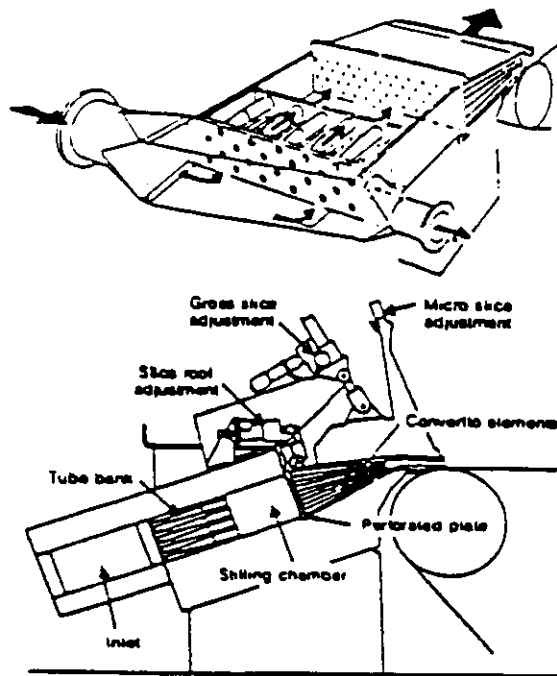
1- a tubulação de entrada, que deverá distribuir o fluxo por toda extensão da caixa e direcioná-lo no sentido da máquina ( zona de distribuição).

2- uma zona de dispersão, com elementos capazes de gerar microturbulência, que quebrem os flocos de fibras ( como rolos retificadores, lâminas plásticas ou tubulações de várias formas e tamanhos );

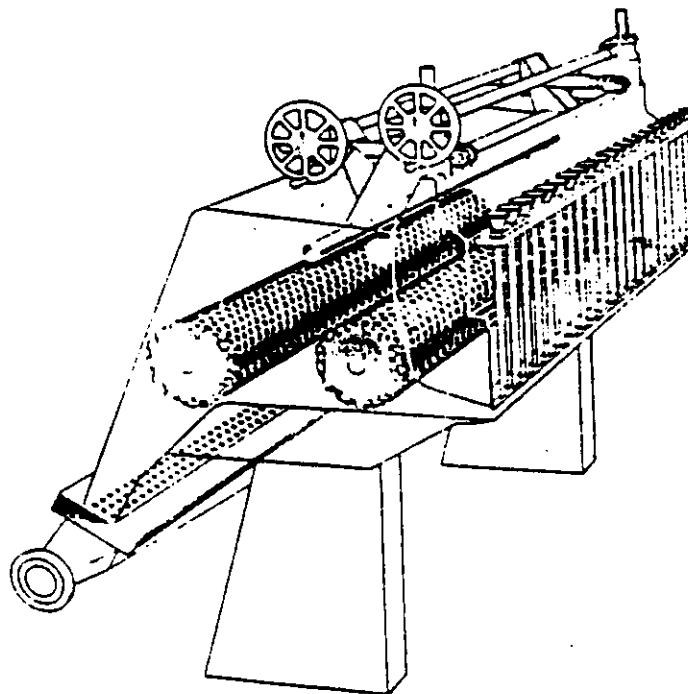
3- a zona do lábio ou de entrega, onde a suspensão é acelerada a velocidade próxima à da tela formadora.

As caixas de entrada são em geral de dois tipos: com colchão de ar ou hidráulicas ( fig abaixo).





As caixas de colchão de ar, tem limites estruturais, dado que com o aumento de velocidade das máquinas, a pressão nas paredes pode ultrapassar a 100 t..Pressões tão altas, seguramente fariam a parede frontal deformar-se caso não fosse bastante reforçada. Para as máquinas velozes, criou-se caixas hidraulicas, em que a pressão necessária para acelerar o fluxo é dada pela bomba de mistura, e que tem dimensões bastante menores que as caixas de colchão de ar.



Caixa de entrada pressurizada'

Uma função muito importante das caixas de entrada, é a perfeita distribuição de massa sobre a tela. Para corrigir imperfeições na direção transversal à máquina, causadas por deformações na caixa ou quaisquer imperfeições na máquina, proveu-se às caixas de mecanismos de microajustes, conhecidos por manipululos, que podem controlar o fluxo setorialmente por variação da seção transversal. Hoje, estes manipululos podem ser corrigidos remotamente, por sinais gerados desde o sensor de gramatura, ajudando a diminuir problemas de perfis transversais da folha de papel.

Como este mecanismo atua sobre a variação da seção transversal, afetará também a velocidade do fluxo e em consequência, a orientação das fibras. Para sanar este problema, caixas de entrada de última geração, levam um controle de perfil por diluição setorial, e mantém o lábio o mais uniforme possível.

Para papéis embalagem, já está muito difundido o conceito de caixas multicamadas (strata-flo), que permite a fabricação de um produto estratificado, que aumentam as propriedades da folha e diminuem os custos de fabricação. Se o papel embalagem já era comumente fabricado em duas camadas, hoje com 2 caixas de entrada podemos fabricá-lo em 3 camadas, com a possibilidade de colocar na camada intermediária, fibras menos nobres.

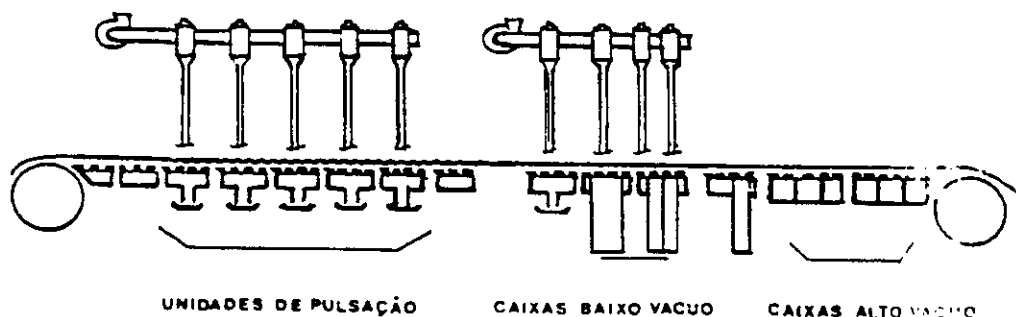
Após a caixa de entrada, passaremos a seção de formação e consolidação da folha. Esta região da máquina de papel, tem 2 funções principais: 1 - formar a folha de papel por um mecanismo de filtração e, 2 - retirar água da folha. Isto ocorre sobre uma tela chamada formadora, que para mesas planas (Fourdrinier), vira entre dois rolos, o cabeceira (sob o lábio) e o couch.

Atualmente, é comum colocar -se outra tela sobre esta, fazendo com que o desaguamento ocorra pela duas faces, minimizando o efeito de dupla face. Este efeito é causado pelo desaguamento ocorrer por somente a face do papel em contato com a tela em mesas planas, que assim perderá mais finos e produtos químicos.

A parte sob a tela formadora é chamada de mesa plana, onde estão elementos que auxiliarão na drenagem e formação da folha. Os primeiros elementos serão os foils e rolos desaguadores e serão os responsáveis por gerar pulsos de pressão, que gerarão atividade sobre a tela (enquanto a consistência for inferior a 2 %) e assim manterão as fibras desfloculadas, melhorando a formação e quando da inversão destes pulsos, gerarão vácuo que iniciará a drenagem.

A atividade sobre a mesa é importante para manter e melhorar a formação. A melhor maneira de garantir atividade em mesas planas e fazer um lay-out harmônico da mesa, isto é, manter as distâncias entre elementos desaguadores constantes em como múltipls da menor distância entre lâminas. A distância entre lâminas, foils deve ser tal que gere-se frequências de pulsos superiores a 40 Hz. Para máquinas com grandes variações de velocidade, torna-se importante que a geração de pulsos e o desaguamento sejam controláveis. Como é difícil controlar o ângulo dos foils a cada fabricação, pode-se controlar por vácuo a intensidade dos pulsos. Após a zona de formação, procura-se incrementar o vácuo nas caixas de sucção, segundo uma curva ascendente. Excesso de vácuo no início da mesa, pode levar a uma selagem da folha por excessiva compactação da face da tela. Em geral, chega-se antes do rolo couch com teor seco de 16 a 18 % e após este, entre 18 a 22 %. A remoção de água na mesa plana, é mais econômica em todo o processo, e responde pelo maior volume, embora não pela maior dificuldade.

Influirão na drenagem, a consistência da caixa, a temperatura de trabalho, o pH, o uso de produtos auxiliares, o tipo de tela, o grau de refinação e o tipo de polpa.



## 6.6 PRENSAGEM

A prensagem, pode ser considerada, como uma extensão do processo de eliminação de água iniciada na tela formadora, e de fato, a busca de um maior teor seco a entrada da secaria é fator de preocupação constante do papeleiro. Outro objetivo, é a consolidação da folha e segundo requerimentos de cada tipo de papel, buscar melhor acabamento, maior densidade ou incrementar a qualidade.

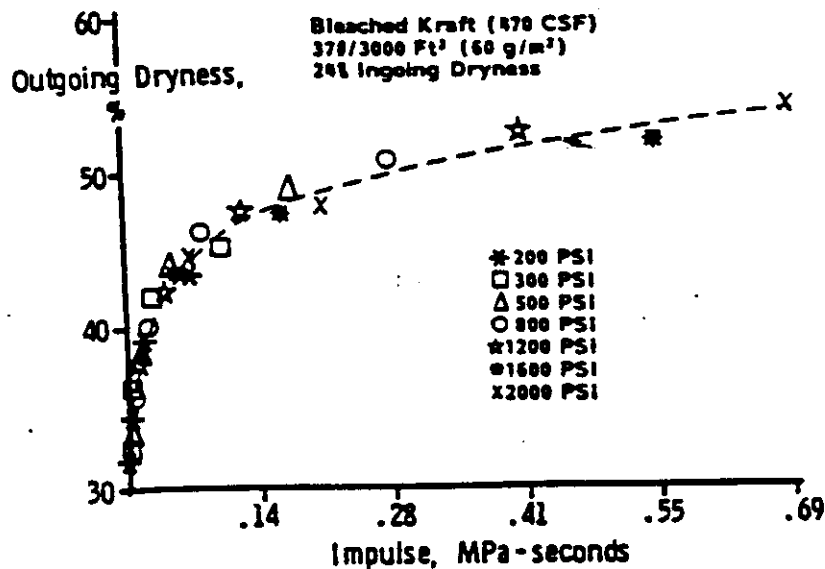
A eliminação da água da folha úmida (material poroso e compressível), durante a prensagem, realiza-se ao entrar esta em conjunto com um feltro (também material poroso, compressível e úmido) entre as superfícies indeformáveis e convergentes da prensa (zona de prensagem - nip), o que origina a saturação do material poroso e o correspondente aparecimento de um gradiente de pressão hidráulica.

Nos referimos à pressão ou carga linear da prensa, ao resultado da divisão da força aplicada pelo comprimento do nip em sentido transversal, e que é expresso em KN/m ou Kgf/cm.

O conceito de impulsão (produto de uma força por seu tempo de aplicação) é importante para entendermos o funcionamento de uma prensa. De fato, desenvolvimentos mais recentes, procuram aumentar a zona de prensagem pois, o esmagamento da folha, os feltros e os revestimentos dos rolos, limitam as pressões que podem ser aplicadas.

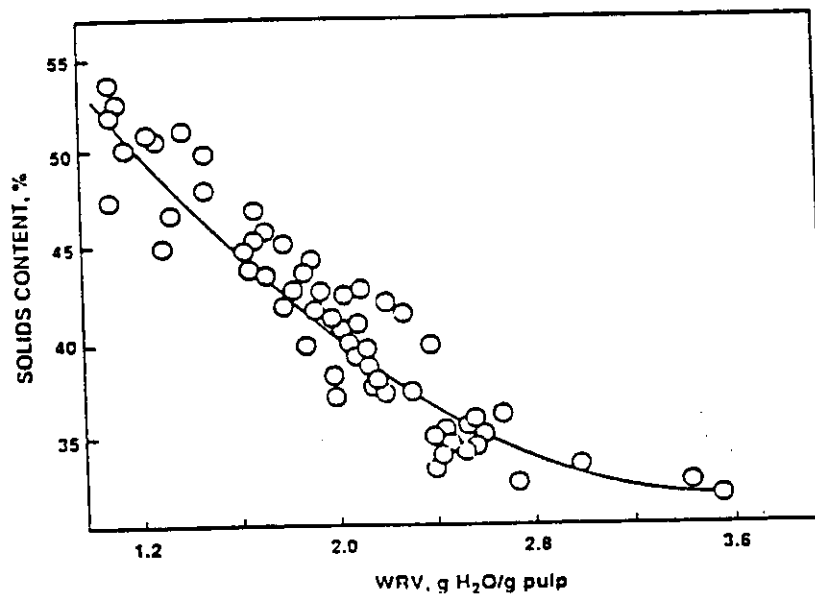
$$\text{Impulso ( KPa.s )} = \text{carga linear (KN/m)} / \text{velocidade (m/s)}$$

As prensas clássicas, estão em geral abaixo dos 20 KPa/s (18).

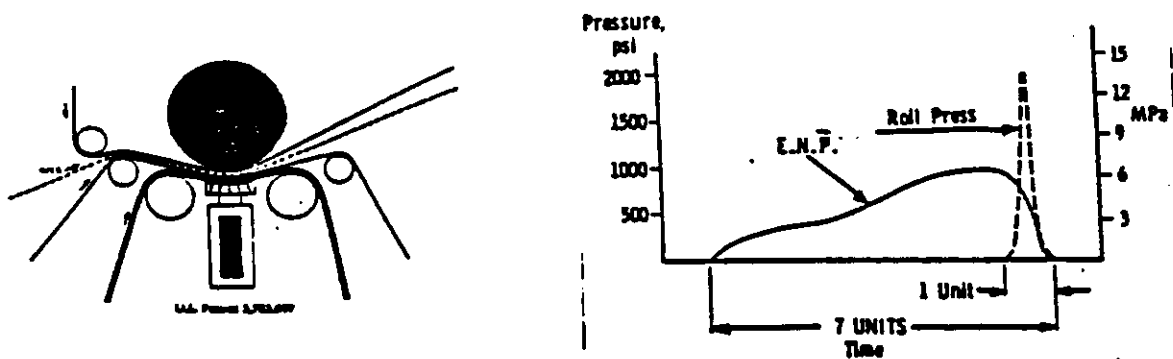




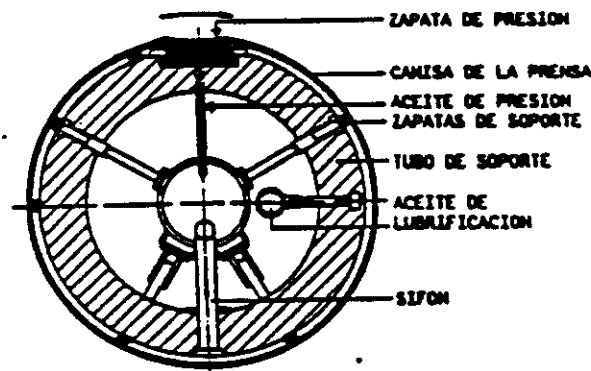
Influência na prensagem, o tipo de composição de fibras, o grau de refinação, a temperatura e a viscosidade da água e o reumidecimento da folha. Em papéis de altas gramaturas (maiores que  $150 \text{ g/m}^2$ ) o prensado é regido pelo fluxo, uma vez que o maior problema é a saída da água, que terá que atravessar a folha. Para estes papéis, a melhor correlação com o teor seco a saída da prensa, será dado pelo valor de Retenção de água ( WRV ).



As evoluções neste setor foram notáveis nos últimos anos, de zonas de prensagem com um feltro, evolui-se para a dupla feltragem, as prensas ganharam novas soluções para revestimento, apareceram as prensas com grande diâmetro (High Impulse) com aplicação de cargas de até 350 KN/m em nips de até 10 cm. Evolui-se para prensas de nip largo (de sapatas), como a E.N.P. (Extended Nip Press) da Beloit, com pressões de até 1500 KN/m. Nesta prensa, substitui-se o rolo inferior por uma sapata hidráulica, sobre a qual desliza uma manta de poliuretano. Voith e Escher Wyss lançaram suas prensas com sapatas embutidas (Flexonip e Intensa S)



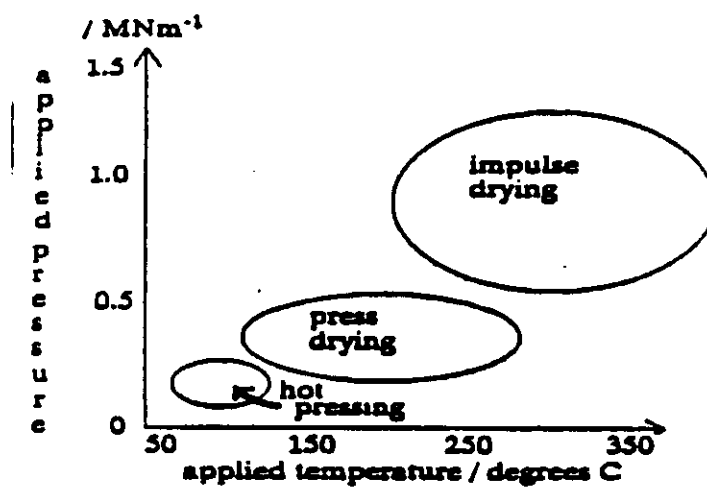
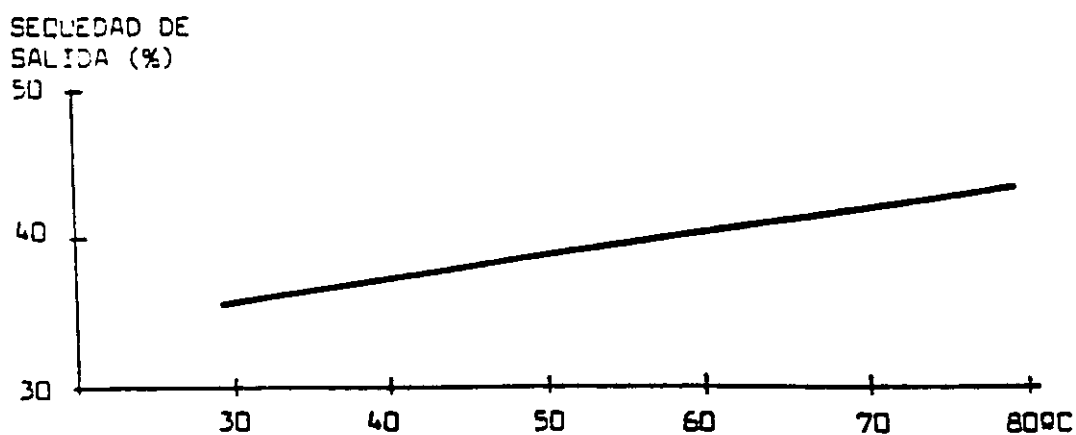
Esquema y perfil de presión de la prensa Extended Nip.



Esquema de la prensa Flexonip.

As últimas evoluções direcionam-se ao aumento da temperatura da folha, como indicado abaixo:

G-5 SEQUEZAD DE SALIDA / TEMPERATURA



A prensagem age praticamente como a refinação sobre as propriedades da folha. Com a prensagem, reduz-se a espessura, aumenta-se a densidade da folha, melhora-se a coesão interna, a tração do papel, o estouro e diminui o rasgo.

A rigidez, que é dada pelo produto do módulo de elasticidade pelo momento de inércia, e que para meios porosos pode ser corrigida pela fração de vazios no papel, como :

$$R = \frac{E \cdot e^3}{12} \cdot \frac{d_c}{d_p} \quad \text{onde :}$$

$$\frac{d_c}{d_p} = \frac{\text{dens. da celulose (1,54 g/cm}^3\text{)}}{\text{dens. do papel}}$$

O inverso da densidade é o volume específico ( cm<sup>3</sup>/g ), e corrigindo a expressão anterior:

$$R = \frac{E \cdot G \cdot 0,65 \cdot e^2}{12}$$

Ao diminuir a espessura com a prensagem, haverá uma diminuição da rigidez proporcional ao quadrado da espessura.

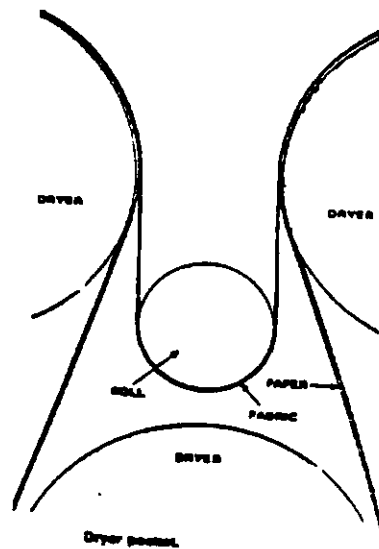
Os principais problemas na seção de prensas são :

- acerto dos abaulamentos dos rolos
- correto condicionamento das vestimentas
- existência de passes abertos
- ajuste das laminas de raspas

## 6.7 - SECAGEM

Entende-se por secagem, o processo de remoção de água por evaporação, através da aplicação de vapor no interior de cilindros. A folha entra em contato com estes cilindros e realiza a troca térmica. Para melhorar o contato da folha de papel com o cilindro de ferro fundido aquecido, utiliza-se telas, aqui chamadas secadoras. Uma máquina convencional tem entre 40 e 60 secadores, agrupados em várias seções ( em geral , de 2 a 5 ). Esta separação, visa melhor controle do encolhimento da folha durante a secagem.

Pode-se explicar o funcionamento da secaria, pegando-se como exemplo, um "bolsão de ar", como na figura abaixo :



O bolsão de ar é o espaço entre 3 secadores. A folha é transferida de um cilindro inferior a um superior e volta ao inferior. Durante este tempo, a folha faz contato com os secadores, calor é então transferido destes para a superfície da folha. Esta ação aquece a água na folha até seu ponto de ebulição. Então, quando a folha passa pelo espaço aberto entre os secadores, a água aquecida sai como vapor. A folha torna a ser aquecida no próximo passo e este processo se repetirá por várias vezes até o final da secaria.

Exaustores retirarão o ar saturado do interior da capota ou coifa onde estão os secadores. Para maximizar a eficiência da secagem, usa-se insuflar ar aquecido.

O vapor insuflado ao interior do cilindro, condensa-se ao trocar calor e será removido por sifões do interior destes por diferença de pressão entre a entrada e saída e por arraste com o excedente de vapor não condensado. É então levado para balões, onde separar-se-ão vapor e condensado. O vapor é então reinjetado em outro grupo, a menor pressão.

Durante a secagem, a folha é submetida a uma série de tensões:

- forças devido a capilaridade, exercidas sobre as fibras durante a evaporação;
- tensões exercidas sobre a folha, principalmente em direção máquina;
- esforços devido às telas secadoras, que limitam a contração em direção

transversal;

- esfriamento da folha a saída da secaria.

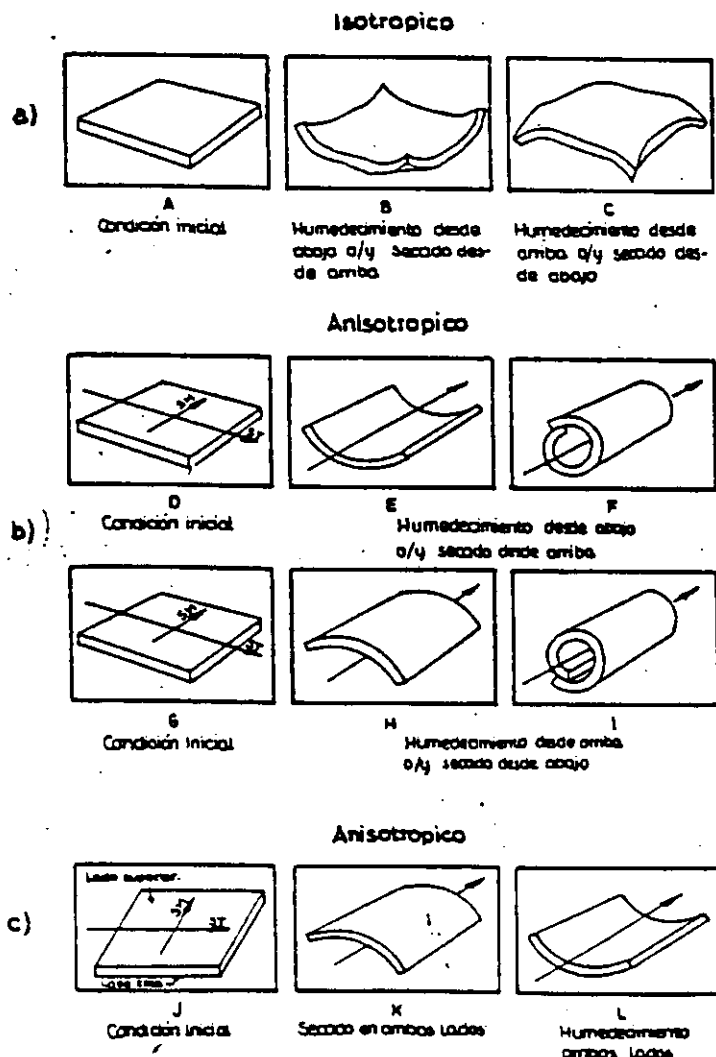
Estas tensões afetarão as propriedades do papel, como:

- quanto maior a tensão na secagem, maior a resistência a tração em direção máquina. para a direção transversal, ocorre o revés, a resistência diminui e a elongação aumenta muito pouco.

- o estouro diminui com o aumento das tensões na secaria.

- a estabilidade dimensional aumenta com as tensões de secagem (esta propriedade evolui de forma inversa à elongação).

As tensões geradas na secagem, podem ainda causar abaulamento nos papéis, se uma das faces secar mais que a outra, ou se um lado secar mais que o outro ( ocorrência principalmente nas extremidades da folha ). Ainda, originam-se na secaria o "cockling" que são empenamentos localizados, como pequenas bolhas, e ocorrem por secagem intensa aos primeiros grupos e por má formação da folha.



## 6.8- ACABAMENTOS SUPERFICIAIS

Os papéis para embalagem, podem receber tratamentos superficiais para melhor sua imprimibilidade, uma vez que estão acetuando-se o uso de caixas como "display" de produtos. As impressões em flexografia estão apresentando evoluções sensíveis.

Para este melhor acabamento superficial, a operação usual é calandrar o papel, diminuindo-se assim a rugosidade superficial.

As calandras empregadas são normalmente compostas por rolos de aço. E sua ação fecha os poros superficiais da folha, diminui a espessura e em consequência a rigidez, e as demais propriedades físicas também se alteram.

Parece ser uma tendência mundial, o crescimento do uso de calandras com rolo mole (soft calander). Esta calandra é formada por um rolo de aço aquecido, e sobre esta superfície aquecida

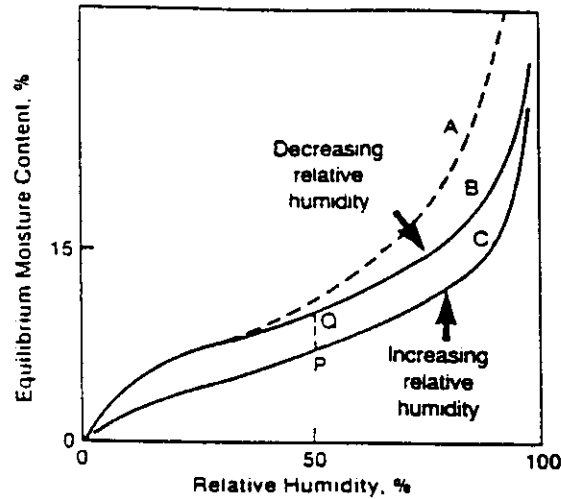
prensa-se a face do papel que se deseja melhorar, através de um rolo de borracha mole. Praticamente, imprime-se a superfície do rolo de aço na face do papel que se quer melhorar o acabamento. Joga-se com curvas de temperatura x pressão, segundo o acabamento desejado.

Para papéis miolo ou testliner, pode-se aplicar, por meio de uma size-press, uma camada de amido, que após secagem, aumentará a rigidez do papel, refletindo assim em melhores valores de CMT e RCT, como se fosse um engomado do papel.

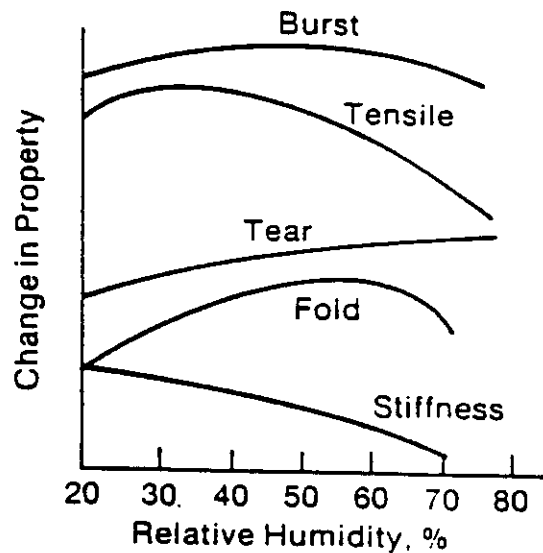
Estas melhorias superficiais, são limitadas em função da aplicação do papel para embalagem. Superfícies muito lisas, podem ocasionar queda das pilhas de chapas de papelão ondulado ou escorregamento das pilhas de caixa, pois também afetam o coeficiente de fricção dos papéis.

## 6.9- RELAÇÕES PAPEL- UMIDADE

Devido às características fortemente hidrofílicas das fibras celulósicas, o papel apresentará o mesmo comportamento. Ou seja, com variações da umidade relativa do ar, variará o conteúdo de água de um papel. Esta variação será tão mais importante, quanto menor o grau de colagem do papel. Ainda mais, esta variação na quantidade de água será diferente se a umidade relativa for de 20% a 80% (absorção) que se for de 80% para 20% (desorção). Este efeito é conhecido com histerese. Estas variações causaram efeito na estabilidade dimensional do papel e nas propriedades físicas.



Relationships between relative humidity and equilibrium moisture content for cellulosic pulps. Curve A illustrates the behavior of previously never-dried pulp on first drying. Curve B illustrates the behavior of the fibers during drying after they have once been dried. Curve C represents the equilibrium moisture contents at successively increasing relative humidities. The noncoincidence of curves B and C is called moisture sorption hysteresis. The practical implication of hysteresis in this instance is that the equilibrium moisture content of pulp and paper at a given relative humidity depends on its moisture history. For example, at 50% relative humidity, the equilibrium moisture content of the pulp in the plot could lie anywhere along line PQ, depending on whether the sample was previously in an atmosphere whose relative humidity was greater than, or less than, 50%.



Diagrammatic representation of changes in paper properties with relative humidity



Estes efeitos devem ser levados em consideração quando do uso do papel, principalmente, quando realizam-se testes comparativos. As normas internacionais, referem-se a condições de climatização, temperaturas de 23<sup>0</sup> C e umidade relativa de 50%, com um pré-condicionamento que garante que o papel esteja na curva de absorção.

Por este problema, é que é importante salas climatizadas para manuseio do papel. Papéis estocados ao tempo, variarão conforme a umidade relativa, e este fator é mais importante para as capas externas das bobinas.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) PPI Staff, "Annual Review", PPI, vol.35 , nº 07, Julho/93
- (2) Scott,W; Properties of Paper:an introduction, Tappi Press, 1989
- (3) Colón Pastor,J.F., Panorámica de la Industria Papelera, E.T.S.E.I.T, Terrassa,1983
- (4) Peippo,Erkii, Hechos sobre el Medio Ambiente, Finnboard,1993
- (5) Astals,F; Introducción al Papel, E.T.S.E.I.T., Terrassa, 1993
- (6) Tecnologia de Fabricação do Papel, SENAI,IPT; São Paulo, 1988
- (7) Kroeschel,W; Uderstanding Box Composition Strength as Related to the Revised Rule 41; Tappi Journal, October/1992
- (8) Astals,F; Fisica del Papel - propiedades mecánicas, E.T.S.E.I.T.;Terrassa
- (9) Astals,F; Papéis para Cartón Ondulado,E.T.S.E.I.T.,Terrassa
- (10) Westerlind,B.;Carlson,L;Compressive response of corrugated board,Tappi Journal,July/1992
- (11) Astals,F.; Fisica del Papel - La fibra;E.T.S.E.I.T., Terrassa
- (12)Colón Pastor,J.F.; Relación entre las características de las pastas y de los papeles.E.T.S.E.I.T. , Terrassa
- (13) Torres Lopes,A.L.; Introducción al refinado:aspectos generales; E.T.S.E.I.T.,Terrassa
- (14) Astals,F; Fisica del papel - el refinado; E.T.S.E.I.T.. Terrassa
- (15) Berger,T; Low consistency plate design consideration, J&L Technical Bulletin Vol IV nº 1
- (16) Keyser,G; Optimization of low consistency disc refiner; J&L Technical Bulletin, Vol II nº 1
- (17) Roberts,J.C.; Paper Chemistry, Blackie, New York,1991
- (18)Torres Lopes,A.L.; Fundamentos de los nuevos conceptos de prensado,E.T.S.E.I.T.,Terrassa