



POLPA E PAPEL

Propriedades do papel

AT105 – Prof. Umberto Klock

Propriedades físicas do papel

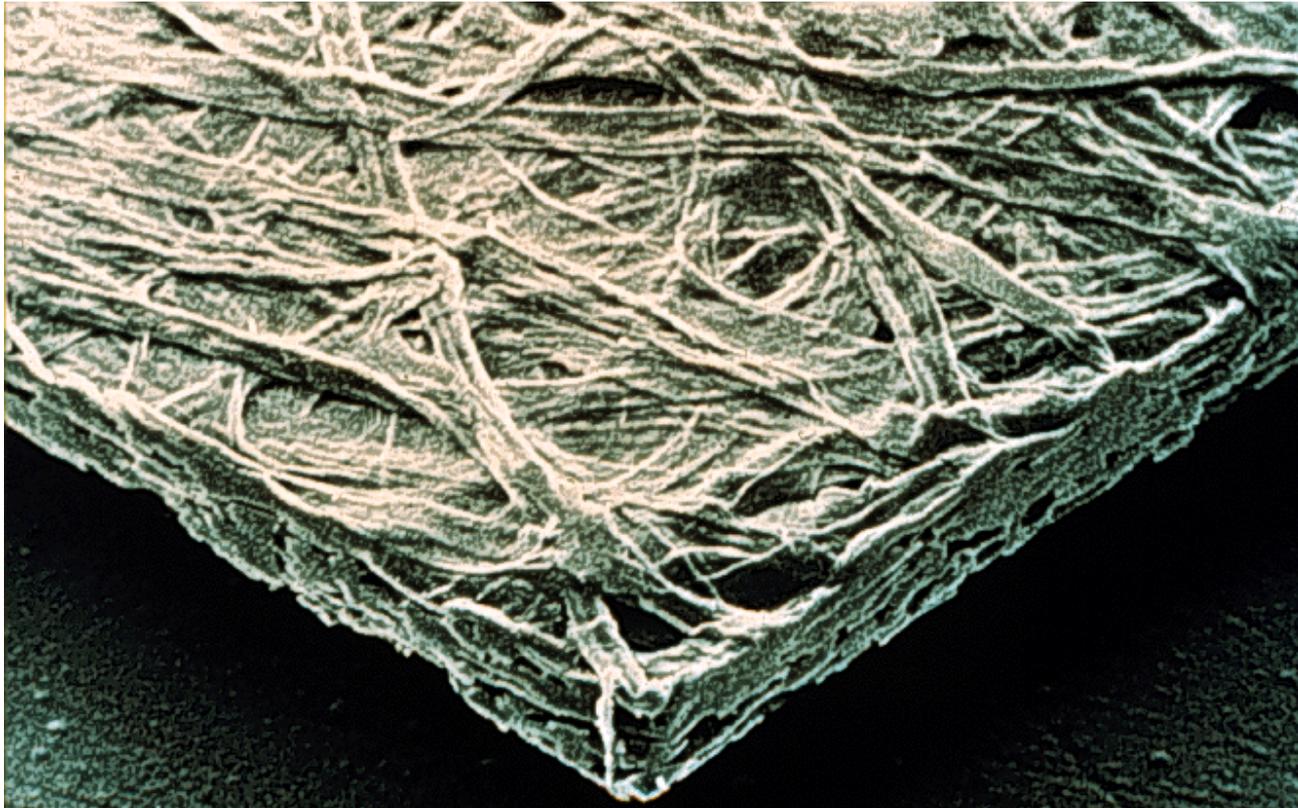
■ Gramatura

- A gramatura é a massa do papel expressa em gramas por metro quadrado (g.m^{-2}). A medição se realiza, em corpos de prova condicionados, por meio de uma balança analítica ou uma balança na qual é possível ler diretamente a massa em gramas por metro quadrado, quando se pesa uma folha de área determinada.

gramatura

- A gramatura do papel afeta a maioria das propriedades, principalmente as mecânicas e as ópticas. Para facilitar uma comparação, é comum relacionar algumas propriedades à gramatura, como, por exemplo, o índice de tração que é o quociente entre a resistência à tração e a gramatura.

gramatura



Gramatura g/m²

Pine



gramatura

- **A gramatura é comumente especificada na venda e compra do papel.**
- **O consumidor, na compra de papel em bobinas ou folhas, está interessado na gramatura, porque um papel mais pesado que o especificado resulta em menos folhas, sacos ou outras subunidades após a conversão, mas é deficiente em, por exemplo, na resistência e opacidade.**

gramatura

■ BALANÇA DE GRAMATURA ELETRÔNICA

Para o cálculo em balança normal

Gramatura seca ou
Gramatura padrão 7% Umidade

Pesar a amostra e determinar a
área, calcular:

$Gr = \text{massa (g)}/\text{área (m}^2 \text{)}$



Espessura

- a espessura do papel é definida como:
- Espessura de uma única folha: quando esta é colocada entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante.

Espessura

- Espessura média das folhas no maço: espessura de uma única folha de papel, calculada a partir do valor da espessura das folhas no maço, quando estas são colocadas entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante (papéis com gramatura até 224 g.m⁻²).

Espessura

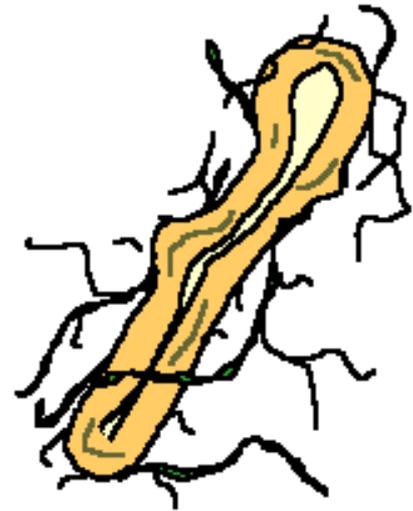
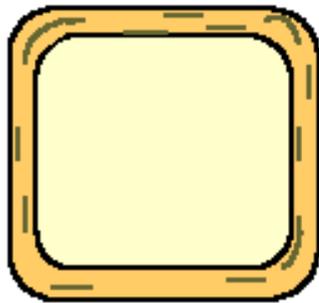
- A medição se realiza através de um micrômetro padronizado que possui dois discos planos e paralelos, entre os quais se coloca o corpo de prova.
- O resultado é expresso em milímetros.

Espessura

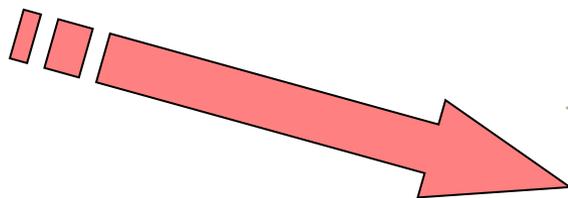
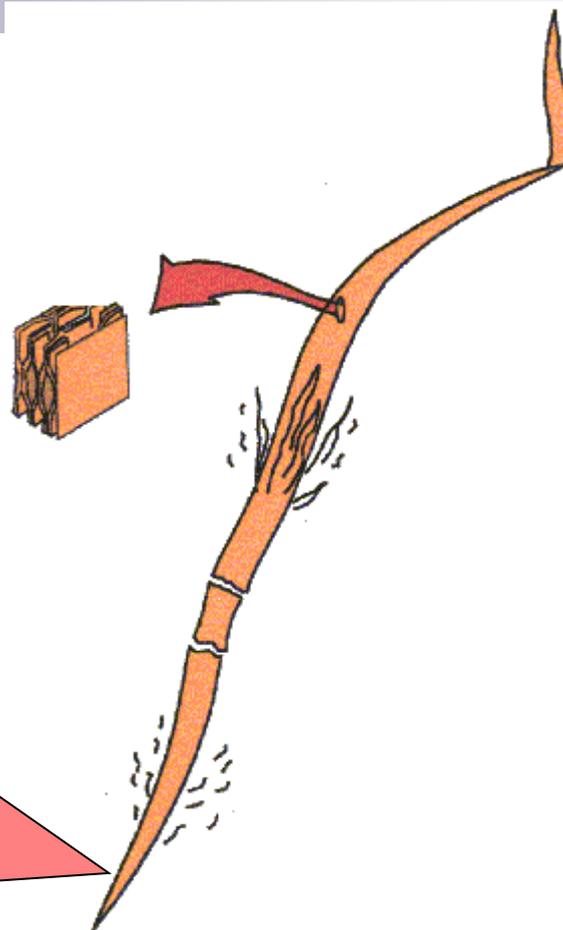
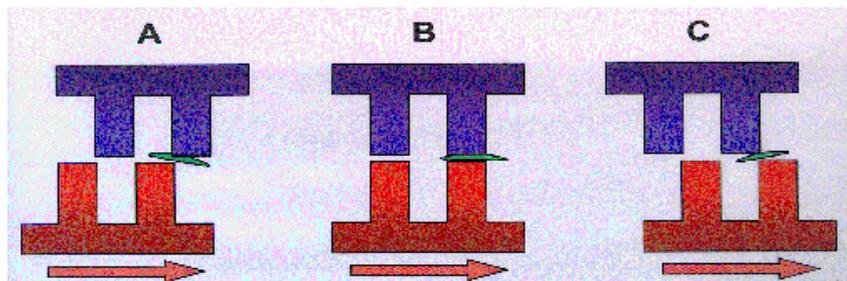
- A espessura é afetada pela composição fibrosa, grau de refino e, principalmente pela calandragem; por sua vez, afeta as propriedades mecânicas e ópticas do papel e é relevante no desempenho de papéis para fins elétricos.

Refinação

**DELAMINAÇÃO DAS FIBRAS
COLAPSO NA FORMA DE FITA
FIBRILAÇÃO DAS SUPERFÍCIES**



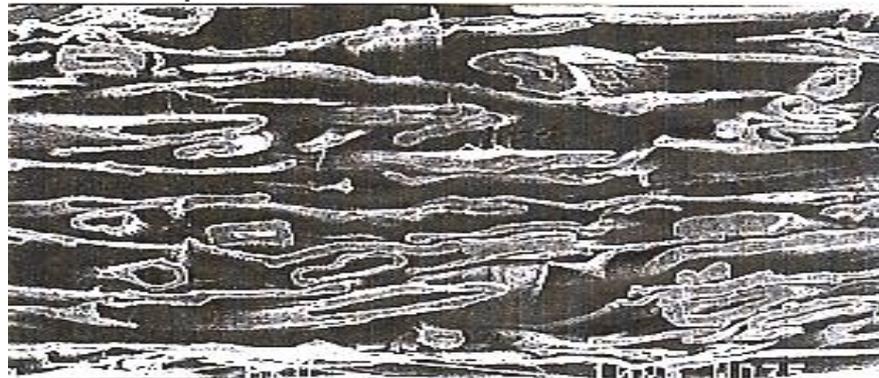
Refinação



Delaminação

Colapso

Fibrilação



Espessura

■ MEDIDOR DE ESPESSURA

Para determinação:

**Medir diretamente no
medidor, anotar
resultados em mm.**

**Realizar 5 medidas
médias nas amostras.
(pelo menos 5 amostras.)**



Densidade aparente do papel (ρ_a)

- É calculada pela relação:
-
- $\rho_a = \frac{\text{Gramatura (g.m}^{-2}\text{)}}{\text{Espessura (\mu m)}} \quad (\text{g.cm}^{-3})$
- Observação: a espessura em mm deve ser transformada para μm , para obter (g.cm^{-3}) .

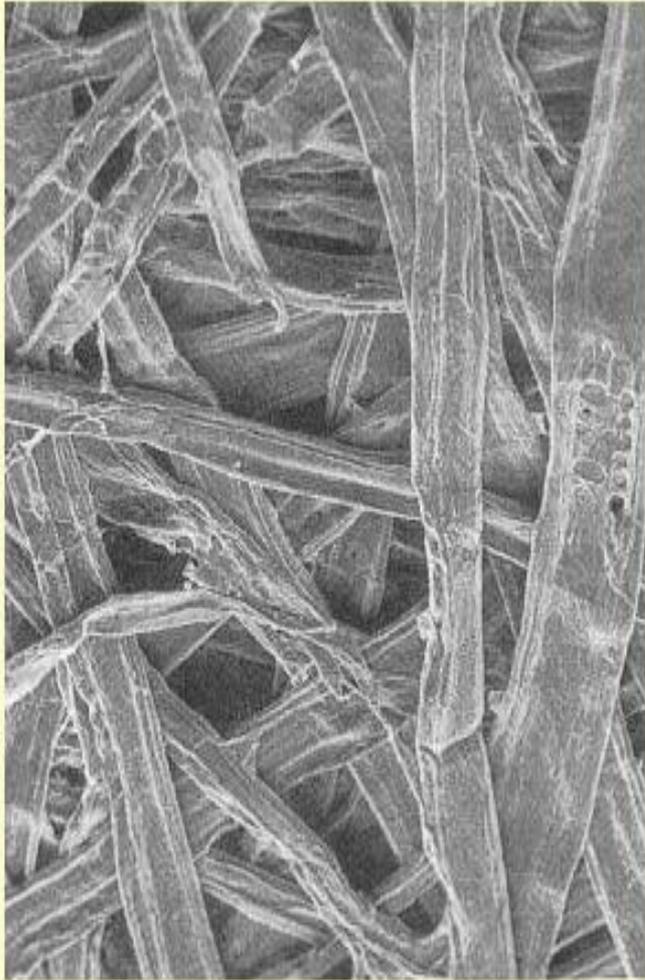
Densidade aparente do papel (ρ_a)

- A densidade aparente é assim denominada, por incluir os espaços do papel preenchidos por ar; é considerada uma das mais importantes propriedades do papel, influenciando as propriedades físicas e ópticas, exceto a gramatura.

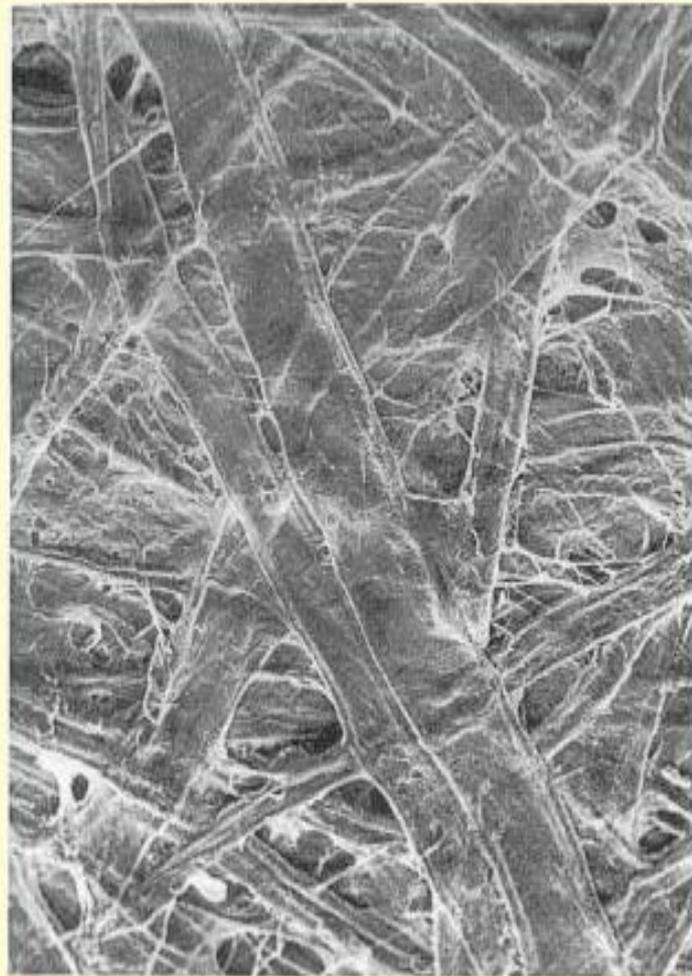
Densidade aparente do papel (ρ_a)

- A densidade aparente da folha de papel é afetada por muitos fatores que podem ser classificados em:
- grau de ligação das fibras, presença de materiais não fibrosos que preenchem os espaços vazios, e calandragem.

Exemplos de papel



Não refinado



Refinado

Propriedades mecânicas de resistência do papel

- **A maneira do papel resistir à ação de forças externas, da umidade e do calor, depende de sua composição fibrosa e de sua formação.**
- **A resistência do papel é muito importante nos casos onde o papel deve resistir a um esforço aplicado.**
- **Esta resistência, sendo um termo vago, precisa ser identificada quanto à sua natureza, como, por exemplo, resistência à tração, resistência ao rasgo resistência ao arrebatamento ou estouro**

Resistência do papel

- **Na prática, para o desempenho de um papel com fim determinado, só um ensaio mecânico não é significativo para poder deduzir se o papel reúne as condições necessárias para sua utilização.**
- **É muito importante obter pelo menos um par de ensaios mecânicos diferentes, significativos para uma determinada aplicação.**

Resistência do papel

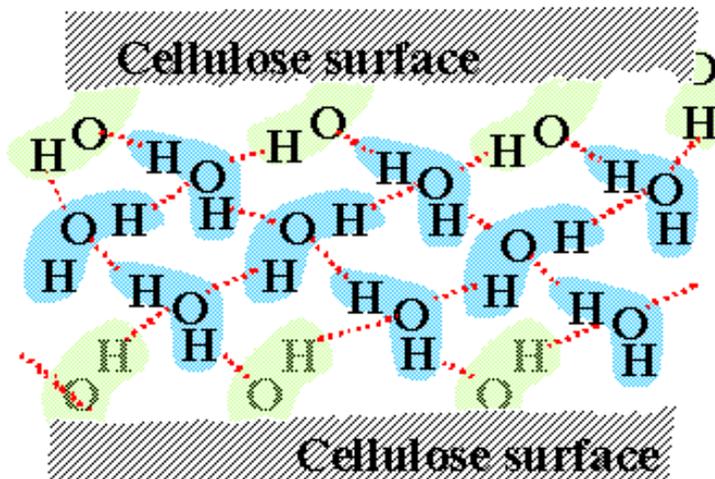
- Existem vários ensaios de resistência que podem ser feitos no papel; os mais comuns são: **resistência à tração, resistência ao arrebatamento ou estouro, resistência ao rasgo e resistência a dobras duplas.**
- Nenhum destes ensaios é uma medida fundamental, mas uma combinação de vários fatores, como **flexibilidade, ligações de fibras e resistência da fibra.**

Resistência do papel

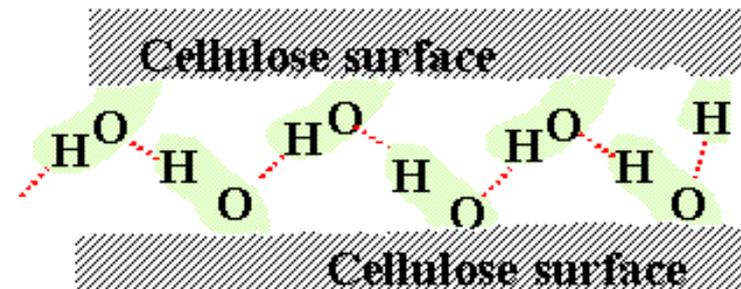
- Tais fatores dependem, entre outros, do tipo de fibras, do comprimento e espessura das fibras, da flexibilidade das fibras individuais, do número de ligações entre fibras, da resistência das ligações individuais, da gramatura do papel, da densidade aparente e da umidade.

umidade

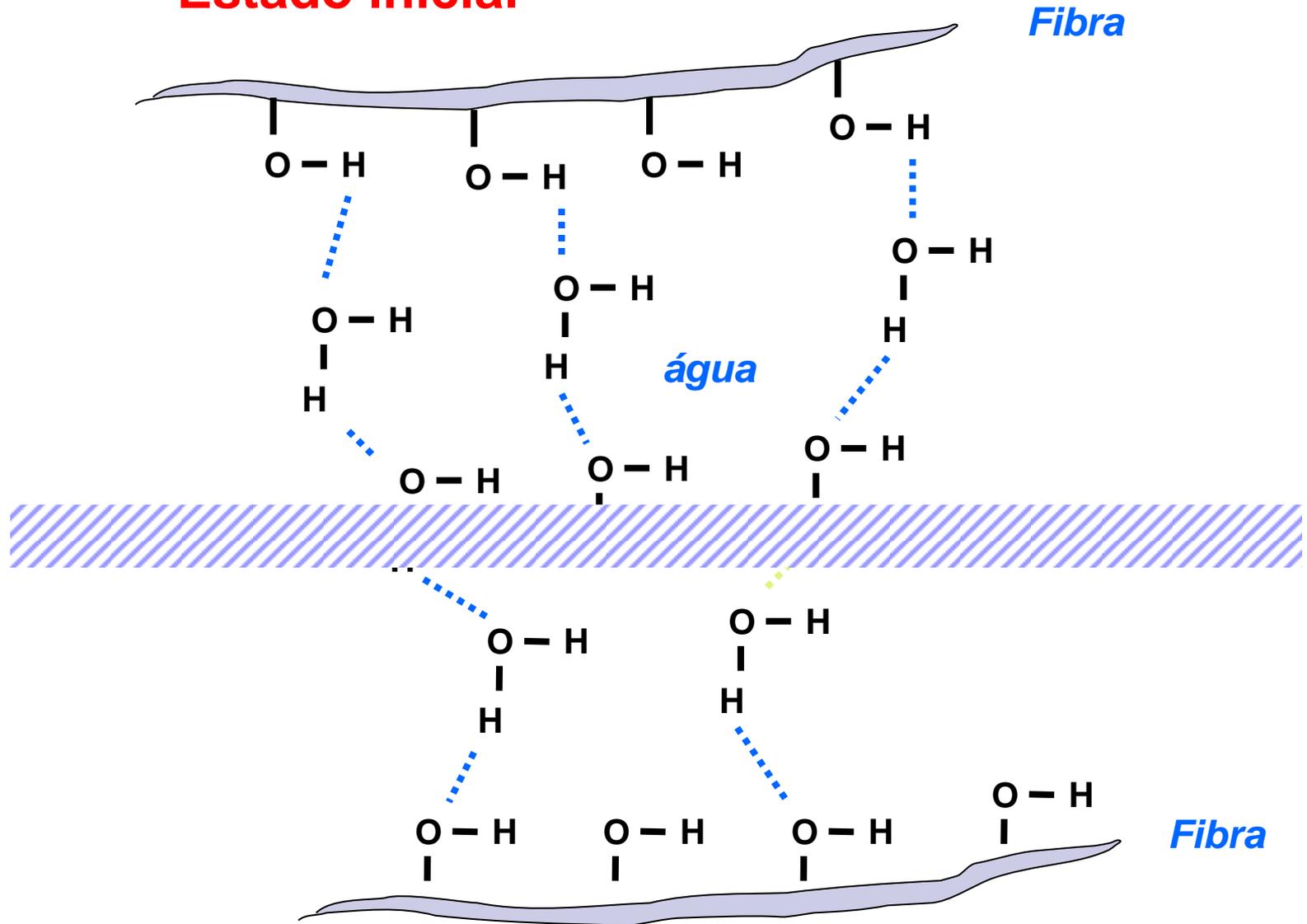
Ligações fracas no papel úmido



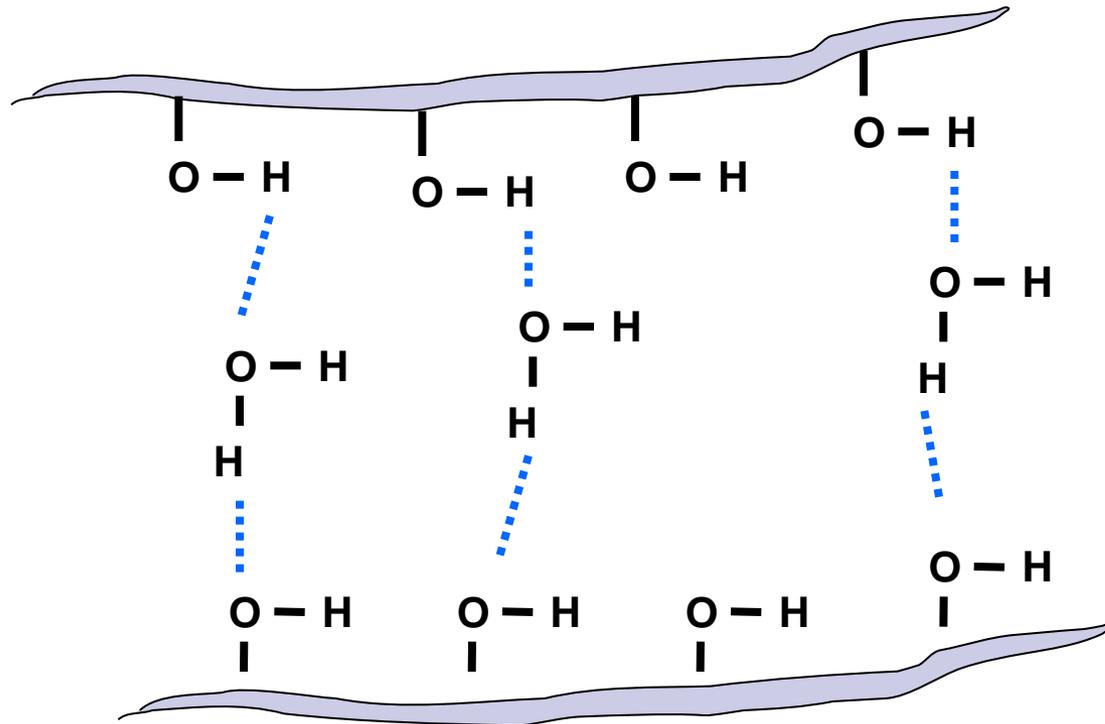
Ligações diretas no papel seco



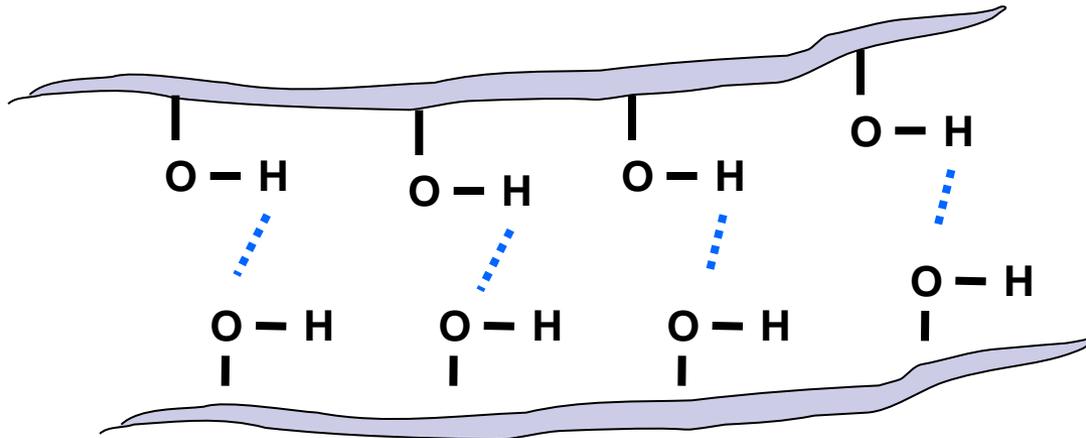
Estado inicial



Após formação e prensagem mecânica



Estado FINAL seco



Fatores de qualidade das fibras para fabricação de papel

✚ Coeficiente de Peteri ou Índice de esbeltez (IE) = L/D

✚ Classificação da relação de Runkel: $RR = 2w/l$

Grau	Intervalo	Classificação
I	Menor de 0,25	Excelente para papel
II	De 0,25 a 0,50	Muito boa para papel
III	De 0,50 a 1,00	Boa para papel
IV	De 1,00 a 2,00	Regular para papel
V	Maior de 2,00	Ruim para papel

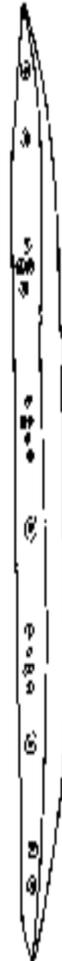
Donde:

D = Diâmetro da fibra

L = Comprimento da fibra

l = Diâmetro do lume

w = Espessura das paredes da fibra



Fatores de qualidade das fibras para fabricação de papel

✚ Classificação do coeficiente de Rigidez; $CR = 2w/D$

Intervalo	Tipo de parede celular	Rigidez
Maior de 0,70	Muito espessa	Muito alta
De 0,70 a 0,50	Espessa	Alta
De 0,50 a 0,35	Media	Media
De 0,35 a 0,20	Delgada	Baixa
Menor de 0,20	Muito delgada	Muito baixa

Donde:

D = Diâmetro da fibra

L = Comprimento da fibra

l = Diâmetro do lume

w = Espessura das paredes da fibra



Fatores de qualidade das fibras para fabricação de papel

✚ Classificação do coeficiente de Flexibilidade; $CF = l/D$

Intervalo	Tipo da parede celular	Propriedades
Menor de 0,30	Muito espessa	As fibras não se colapsam. Muito pouca superfície de contato Pobre união fibra - fibra
De 0,30 a 0,50	Espessa	As fibras se colapsam muito pouco. Pouca superfície de contato. Pouca união fibra - fibra
De 0,50 a 0,65	Media	Fibras parcialmente colapsadas, com secção transversal elíptica, Boa união fibra – fibra
De 0,65 a 0,80	Delgada	Igual à anterior
Maior de 0,80	Muito delgada	As fibras se colapsam. Boa superfície de contato. Boa união entre fibra- fibra

Donde:

D = Diâmetro da fibra

L = Comprimento da fibra

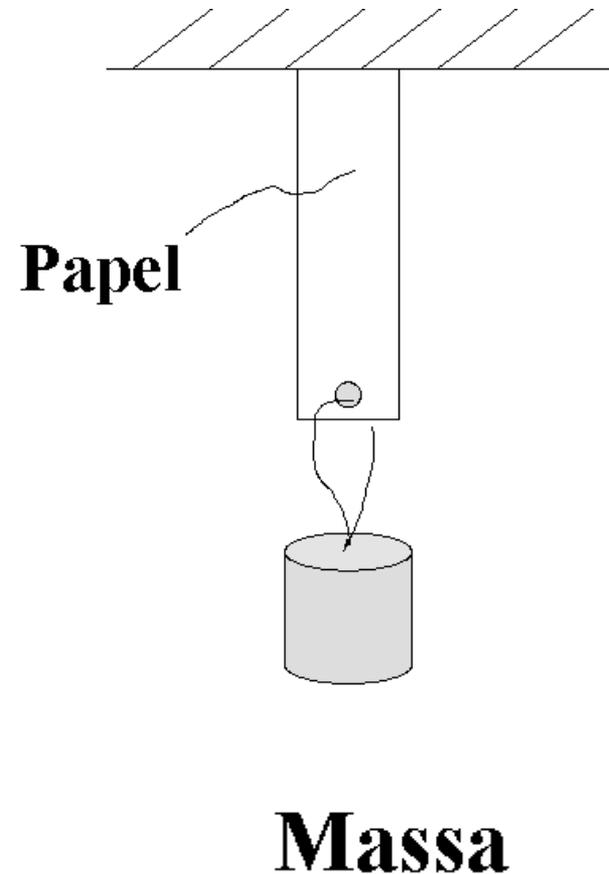
l = Diâmetro do lumen

w = Espessura das paredes da fibra



Resistência à tração

- Os papéis devem resistir, pelo menos, aos diferentes tipos de força que encontram ao longo do processo de produção e utilização.



Resistência à tração

- Para a determinação da resistência à tração, submete-se um corpo de prova de largura e comprimento especificados a um esforço de tração uniformemente crescente até a sua ruptura.
- Como as características diferem pela direção na folha de papel, os corpos de prova para o ensaio devem ser cortados nas direções **longitudinal e transversal**.

Resistência à tração

- O aparelho usado para determinar a resistência à tração é o dinamômetro, e os valores obtidos são reportados em kN.m^{-1} , isto é, divide a carga de ruptura pela largura do corpo de prova.



Resistência à tração

- A resistência à tração também pode ser expressa pelo chamado comprimento de auto-ruptura (CAR), definido como o comprimento de uma tira de papel que, quando suspensa, se rompe sob seu próprio peso.

Resistência à tração

- O comprimento de auto-ruptura é expresso em metros, calculado da seguinte maneira:
-
- $$CAR = \frac{R \times 1\,000\,000}{G \times L} \text{ (m)}$$
- onde:
- R = carga de ruptura em kgf (valor da leitura no dinamômetro);
- G = gramatura da amostra em g.m⁻²;
- L = largura do corpo de prova em mm.

Resistência à tração

- A resistência à tração é relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel, como, por exemplo, para embalagem e outros usos também sujeitos a forças de tensão direta. No caso de papéis de impressão, a resistência à tração indica a probabilidade de ruptura quando são sujeitos à tensão exercida durante o processo de impressão.

Resistência à tração

- A resistência à tração é controlada por fatores como:
- comprimento médio das fibras;
- espessura da parede celular das fibras;
- formação e estrutura da folha.
- resistência individual das fibras;

Resistência à tração

- influência de outras variáveis foram verificadas, como por exemplo:
- Índice de Enfeltramento, relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra, a massa específica da madeira, do Coeficiente de Flexibilidade da Fibra, relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra.



Resistência ao arrebentamento (estouro)

- O ensaio de resistência ao arrebentamento ou estouro é um dos mais antigos; por ser simples, ainda é usado nas fábricas, no controle de rotina e para caracterização do papel.

estouro

- A resistência ao estouro é definida como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular. O corpo de prova, submetido ao ensaio, é preso rigidamente entre dois anéis concêntricos.

estouro

- **A medição da resistência independe da direção de fabricação do material, pois a força transmitida pelo diafragma é perpendicular à superfície do corpo de prova.**
- **O esforço ao qual o material está submetido simula o emprego prático do papel, em forma de sacos, papel de embrulho e outros.**
- **Todavia, é difícil, na prática, se estabelecer uma correlação simples entre o valor da resistência ao arrebentamento e o desempenho dos papéis.**

estouro

- A pressão limite no momento da ruptura, chamada de resistência ao arrebentamento, é expressa em kPa.
- Para sua determinação utiliza-se o aparelho Mullen.

estouro

■ MULLEN TESTER PARA PAPEL



estouro

- A resistência ao arrebentamento é controlada por diversos fatores:
- a. A resistência ao arrebentamento aumenta com crescente refinação, para decrescer com excesso desta.
- A baixa resistência ao arrebentamento pode ser atribuída, em parte, ao corte das fibras;

estouro

- b. As variações na gramatura e na espessura causam comumente variação na resistência ao arrebentamento;
- c. O uso de aditivos e colas afeta consideravelmente o comportamento do papel e o resultado do ensaio.

estouro

- A flexibilidade das fibras, que pode ser verificada através do Coeficiente de Flexibilidade, e do Índice de Enfeltramento, apresentam influência na resistência ao estouro, bem como a massa específica que como na tração se correlaciona de forma negativa com a resistência ao estouro.

Resistência ao rasgo

- A resistência ao rasgo mede o trabalho necessário para rasgar o papel, a uma distância determinada, depois do rasgo ter sido iniciado por meio de uma faca adaptada ao aparelho.

rasgo

- **A resistência é medida em um aparelho tipo pêndulo *Elmendorf*, no qual os corpos de prova de dimensões especificadas são presos entre duas garras. O pêndulo é solto de forma a completar o rasgo iniciado, sendo o trabalho despendido nesta operação marcado em uma escala graduada de 0 a 100 gf, fixada no próprio aparelho.**

rasgo

■ ELMENDORF ANALÓGICO E DIGITAL



rasgo

- A força média necessária para rasgar uma só folha com a distância fixada é expressa em mN e é calculada da seguinte maneira:



- $$R = \frac{16 \times L}{n}$$



- onde:

- R = resistência ao rasgo em mN;

- L = média das leituras feitas;

- n = número de folhas ensaiadas em conjunto.

rasgo

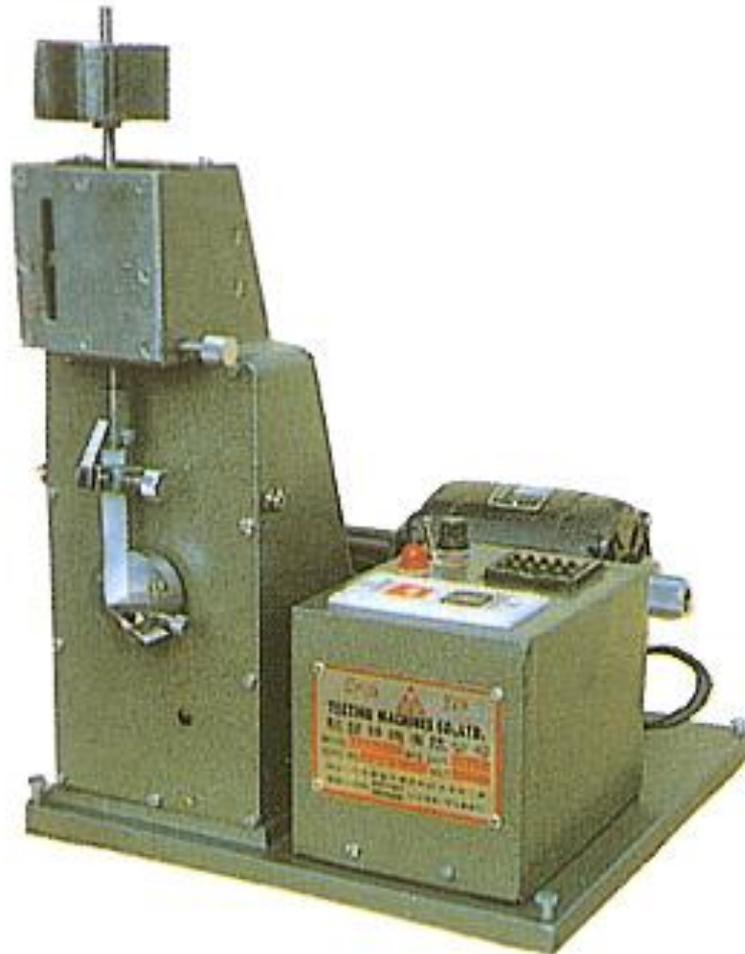
- Variáveis que afetam a resistência ao rasgo de forma positiva são a relação entre a espessura da parede celular e o diâmetro do traqueóide, seguido pelo comprimento do traqueóide.

Outras propriedades

■ Dobras duplas

- É a capacidade do papel suportar múltiplas dobras antes de romper. É definido como o número de dobras duplas que uma tira de 15 mm de largura por 100 mm de comprimento pode suportar sob uma carga específica antes de romper-se. Tem sido útil na determinação da degradação com o envelhecimento do papel. É importante na classificação de papéis que serão submetidos a dobramentos múltiplos como papel moeda, mapas, livros, panfletos, etc.
- Papel moeda tem a maior resistência (>2000).
- Fibras longas e flexíveis provêm alta resistência a dobras duplas.

Dobras duplas





Outras propriedades

- Permeância ao ar (porosidade)
- Opacidade
- Alvura
- Lisura
- Absorção de água, etc.