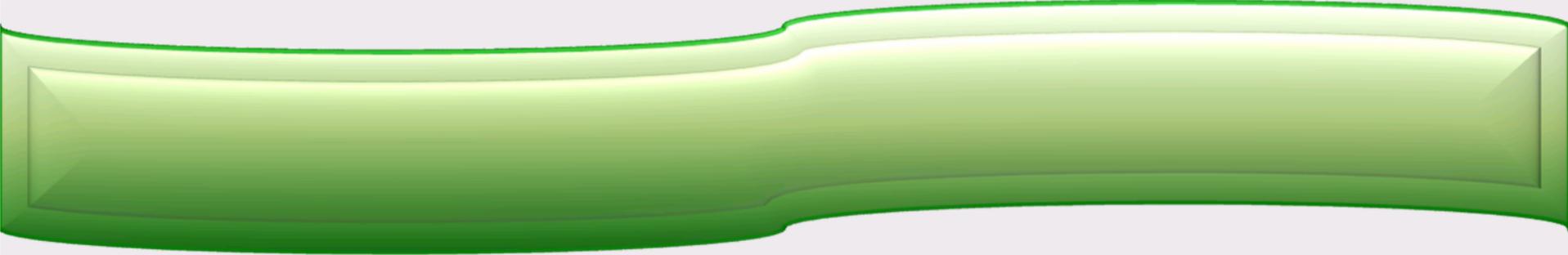


# TECNOLOGIA DOS PRODUTOS FLORESTAIS

1º Ciclo de Bolonha em Engenharia Florestal



2011

- 
- **O PAPEL**
  - **AS MATÉRIAS- PRIMAS**
  - **A HISTÓRIA DO PAPEL**
  - **TIPOS DE PASTAS PARA PAPEL E CARTÃO**
  - **CARACTERIZAÇÃO ECONÓMICA**
  - **PROCESSO DE PRODUÇÃO**
- 

# O PAPEL



# CICLO DO PAPEL E CARTÃO



Floresta



Parque de madeiras



Estilhas



Produção de pasta



Produção de papel



Papel

# Classificação de papeis e cartões pelo uso

## ✓ IMPRESSÃO E ESCRITA

Escrita

Papel de revista

Impressão artes gráficas

Papel mata borrão

Separadores de arquivo

Cartão revestido

Escritório multiusos

Impressão inkjet

Papéis prestígio

Vegetal

Cartão colorido

Papel fluorescente

Cópia/laser

Formulário

Autocopiativo

Papel selos

Papel de cheque

Papel térmico

## ✓ JORNAL

Normal

Impressão melhorada

## ✓ HIGIENE E CONFORTO

Papeis esterilizados para uso hospitalar

Papel higiênico

Papel de filtro para café

Guardanapos e lenços de papel  
(Tissue)

## ✓ INDUSTRIAL

Preparação de laminados decorativos (Formica)

Base de papeis de parede

## ✓ EMBALAGEM

Kraft

Cartão para caixas

Papel adesivo para etiquetas

Papel metalizado

Papel para face exterior de cartão (liner)

Fluting

Papel de saco

# PRODUTOS DE PAPEL E CARTÃO



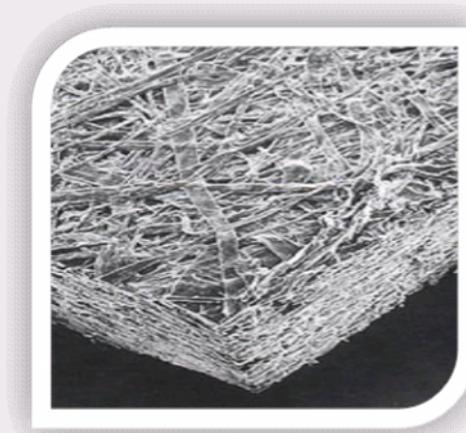
# O PAPEL

O papel é constituído predominantemente por fibras naturais ricas em celulose interligadas em rede unidas tanto

- fisicamente (entrelaçamento e ligações interfibrilares)

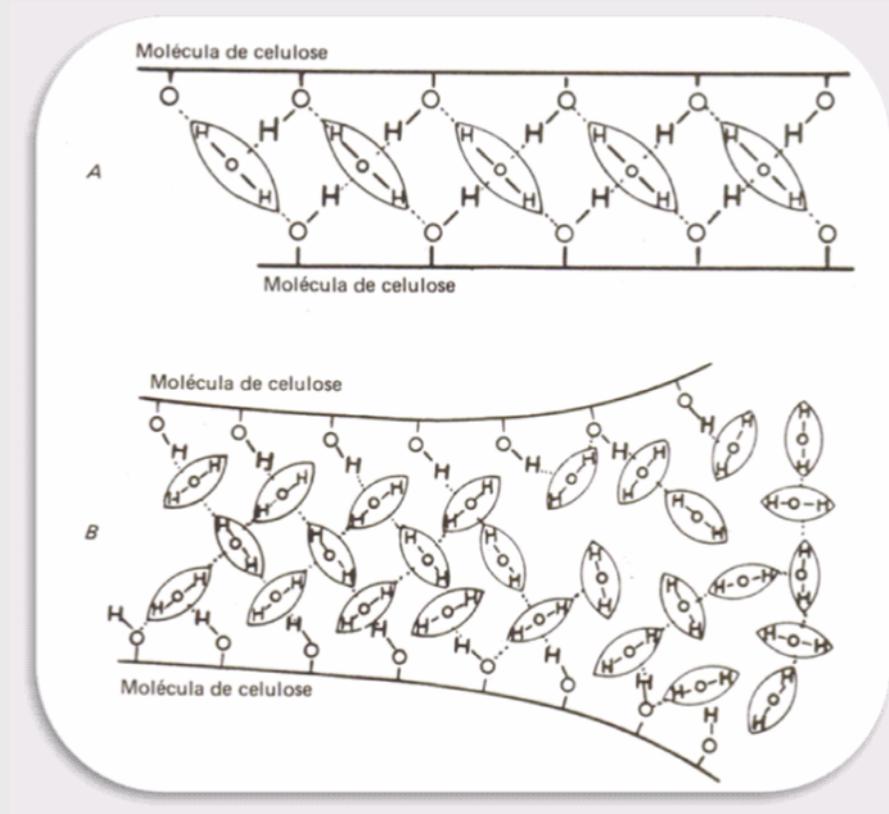
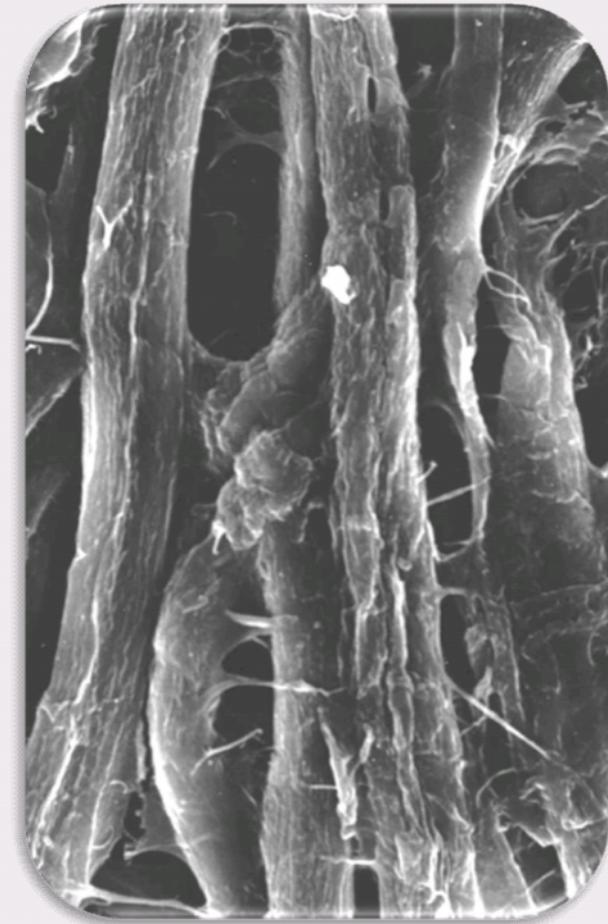
como

- quimicamente, por ligações por pontes de hidrogénio e forças de van der Waals (também conhecida por forças de London, dipolo instantâneo e dipolo induzido)



Podem conter **aditivos** de modo a diminuir a melhorar a qualidade do papel e a sua versatilidade (amido, branqueadores fluorescentes, corantes, microbicidas, agentes tensoactivos etc.)

# Ligações interfibrilares



# ADITIVOS QUÍMICOS – FUNÇÃO

## CARGAS MINERAIS

Substituição económica de material fibroso  
Promoção de opacidade e brancura.

## AMIDO DE MASSA

Promoção da coesão interna.

## AMIDO DE COLAGEM SUPERFICIAL

Promoção de características superficiais de impressão, lisura e coesão superficial.

## AGENTE DE COLAGEM INTERNA

Aumenta a resistência à penetração de líquidos.

## AGENTE DE RETENÇÃO

Evitam ou atenuam o arrastamento de finos e partículas de carga com a água drenada através das teias.

## BRANQUEADOR ÓPTICO

Promove a brancura.

## CORANTES

Promovem cor, brancura e brilho.

# A HISTÓRIA DO PAPEL



# O PAPEL – A sua história



[<http://letraslivroseafins.blogspot.com/2007/04/papiro-origem-o-papiro-um-produto-de.html>]

3700 AC – Papiro, fabricado pelos egípcios a partir de uma planta com o mesmo nome (Papyrus) (a palavra papel deriva de papyrus). O papiro, ao contrário do pergaminho, podia-se produzir fácil e economicamente, além de se adaptar muito bem às necessidades da escrita.

200 AC – Pergaminho - Peles de animais tratadas para que nela se possa escrever.

# O PAPEL – A sua história

---

- 105 DC – Segundo registos existentes, foi neste ano que um oficial da corte imperial Ts'ai Lun Chinesa inventou o fabrico do papel a partir de desperdícios de têxteis ou seja de trapos. Depois os papeleiros chineses foram diversificando a produção introduzindo no uso corrente vários tipos de papéis como os papéis encerados, revestidos e tingidos, ou protegidos contra insectos. Papel feito com fibras vegetais do bambu e da amoreira (Morus) que desfibravam cozendo-o em meio alcalino.
- 610 DC – As técnicas de fabrico do papel passaram rapidamente da China à Coreia e foram introduzidas no Japão.
- 1150 – Os espanhóis já faziam papel em Játiva, em Valência. Da Espanha, o papel passou à Itália (1276) França, (1384), Alemanha (1390), Inglaterra (1494), Holanda (1586).  
(o rendimento, embora baixo podia atingir um máximo de nove resmas (4 500 folhas) de papel produzidas por dia de trabalho que tinha em média 13 horas).
- 1796 – Primeira máquina de papel desenvolvida perto de Paris, operava com fibras de algodão.
- 1854 – Desenvolvido o processo Soda em Inglaterra.
- 1840 – Processo de pasta mecânica (Groundwood) na Alemanha.
- 1867 – Processo Sulfito ácido desenvolvido nos Estados Unidos.
- 1884 – Processo Kraft desenvolvido na Alemanha.

# O PAPEL – A sua história

Em Portugal

1803 (Vizela) a primeira fábrica a utilizar madeira como matéria prima para o fabrico de papel, só na segunda metade do século XIX é que a madeira começa de facto e progressivamente a substituir os trapos.

O processo é naturalmente lento e em Portugal ainda se fabricava papel de “trapos” nos anos 50 do século XX.

É no concelho de Sta. Maria da Feira que se concentravam várias indústrias papeleiras movidas a água, onde hoje se pode visitar o Museu do Papel (<http://www.museudopapel.org/pagina,1,1.aspx> ).



# O PAPEL – A sua história

Portugal foi o primeiro país a produzir pastas químicas de eucalipto: em 1923 com sulfito; em 1957 com sulfato.

Hoje as 11 empresas associadas da CELPA produzem cerca de 1,9 milhões de toneladas de pasta para papel e 1,5 milhões de toneladas de papel para vários usos. Na sua actividade reciclam mais de 300 mil toneladas de papéis recuperados e consomem aproximadamente 6 milhões de metros cúbicos de madeira de eucalipto e pinho, dos quais cerca de 20% são produzidos nos 250 mil hectares de terrenos geridos directamente pela indústria.



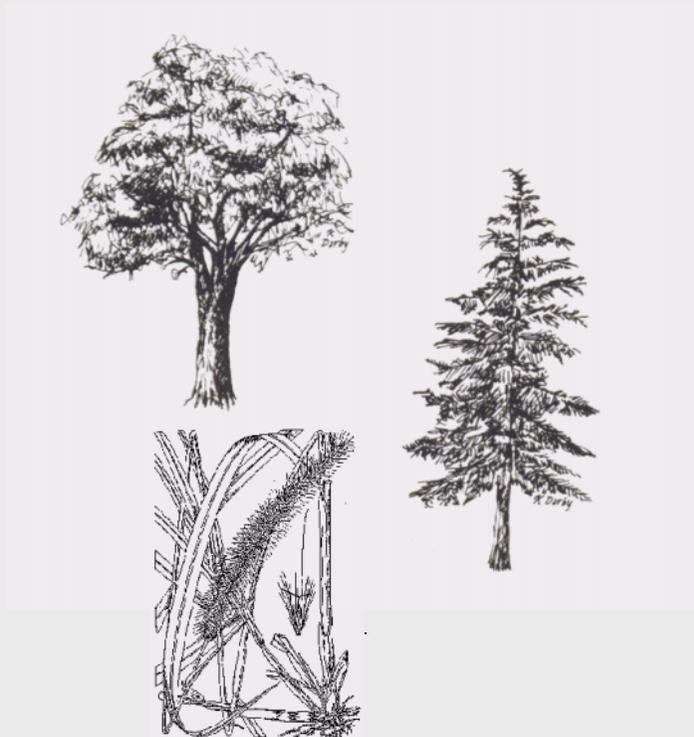
# AS MATÉRIAS- PRIMAS



# MATÉRIA-PRIMA

## Características:

- apresentar um alto conteúdo em celulose,
- ser abundante (elevada produtividade biomássica, baixo custo de instalação e de produção)
- ser facilmente renovável
- e fácil obtenção (baixos custos de recolha e transporte)



## As fibras vegetais podem ser obtidas:

- Madeira\* (Coníferas ou Resinosas e Folhosas)
- Outras plantas fibrosas (palha, colmos, cana, cardo, etc.)

(\*)

- toros provenientes de explorações comerciais (são estilhaçados na fábrica)
- ou resíduos de indústrias transformadoras da madeira

# MATÉRIA-PRIMA

Fibra		Exemplos	
Vegetal	Fibras do fruto	Algodão	
	Fibras do caule	Fibras da madeira	
		Coníferas ou resinosas	Pinus
		Folhosas	Eucalipto, Acácia , Bétula
		Fibras liberianas ou floemáticas	Linho, Juta
	Fibras vasculares de monocotiledóneas	Palha de cereais, bambu	
	Fibras da folha	Sisal, Cânhamo de Manila	
Animal		Lã e seda	
Mineral		Fibra de vidro	
Artificial		Poliamida, poliéster	

# ANATOMIA DO TRONCO

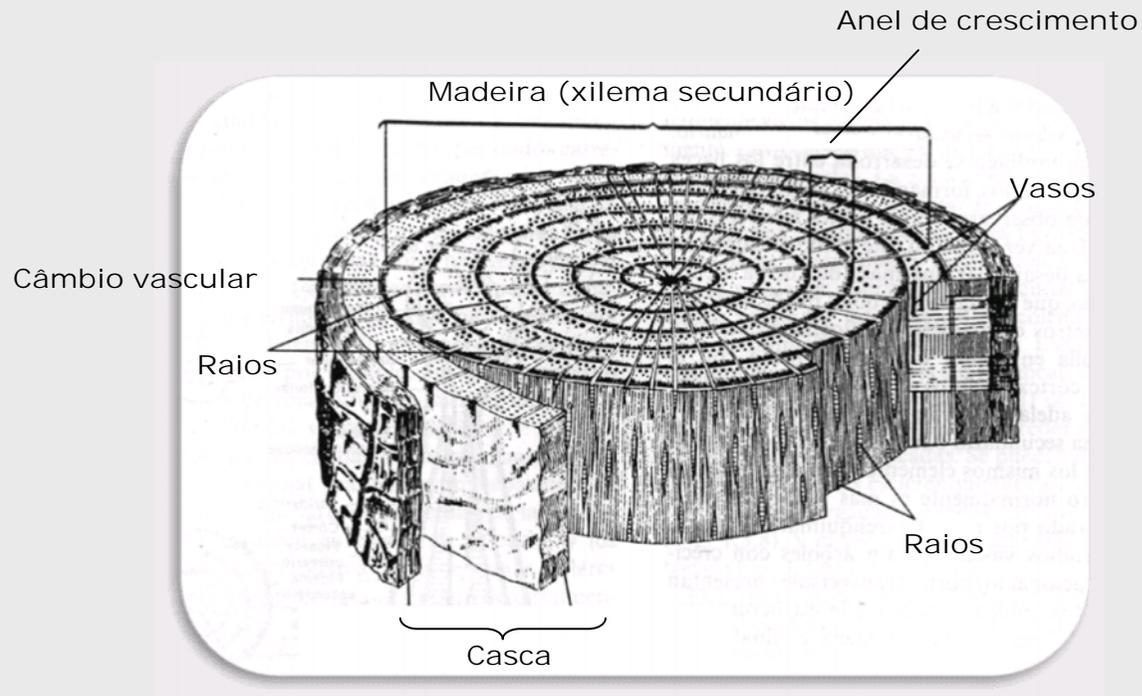
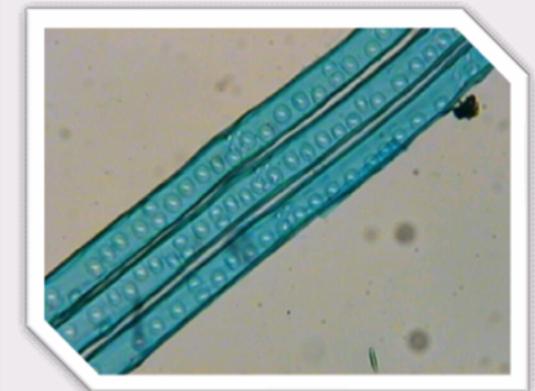
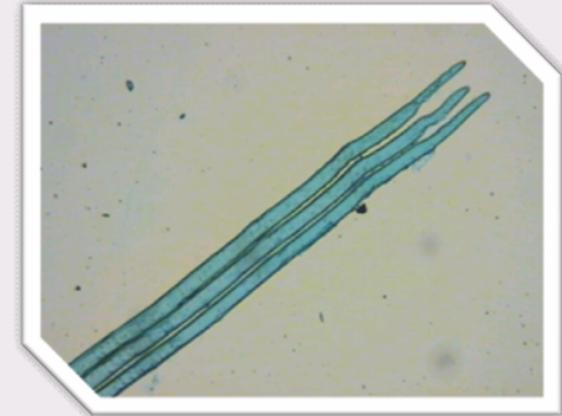
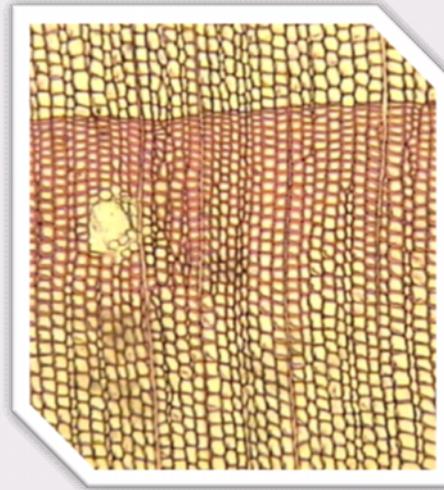
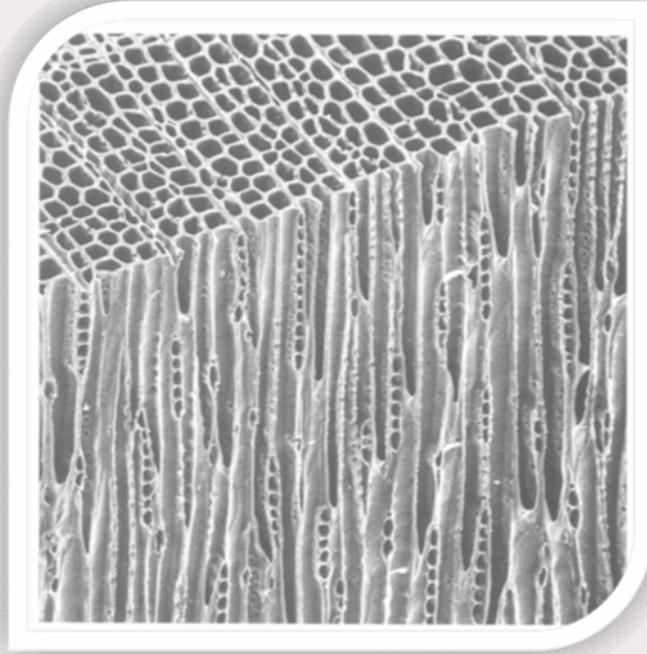


Diagrama esquemático de um tronco com crescimento secundário resultante da actividade dos meristemas secundários. [Fahn, 1975]

# CONÍFERAS ou RESINOSAS (Softwood)

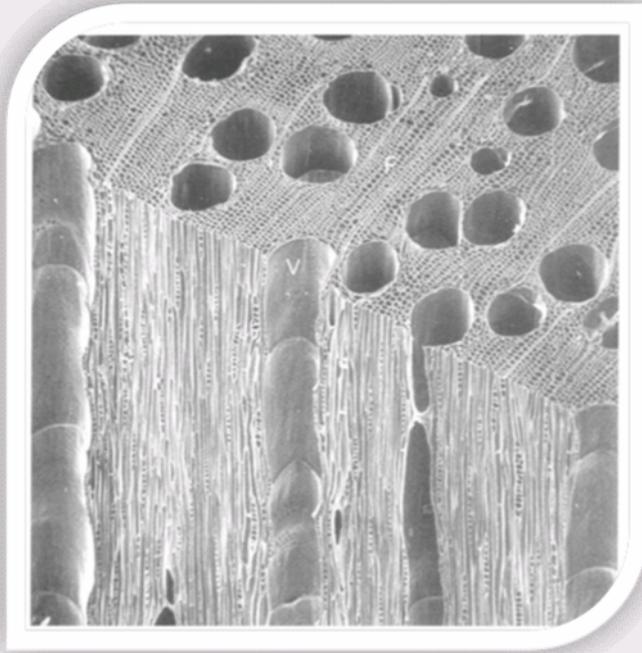
Tipos de células: traqueídeos, traqueídeos dos raios, parênquima radial e axial



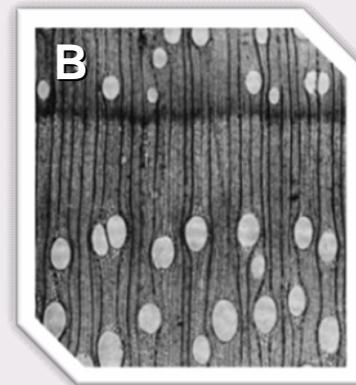
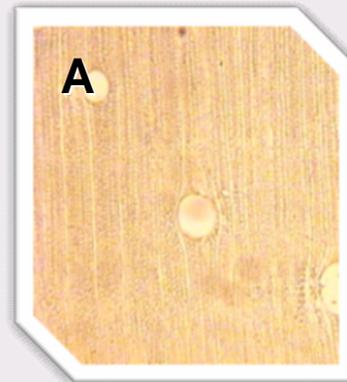
Arranjo estrutural do lenho de uma resinosa (*Dacrycarpus dacrydioides*) onde se podem observar os traqueídeos dispostos axialmente e raios uniseriados. [Butterfield, 2003]

# FOLHOSAS (Hardwood)

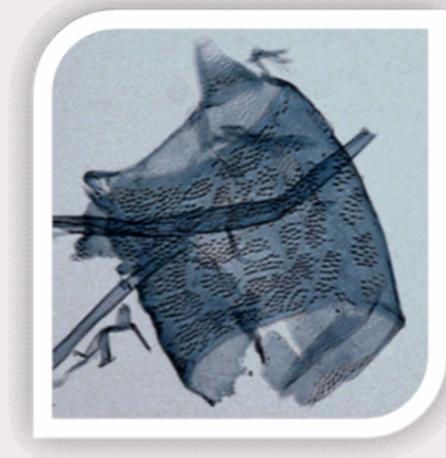
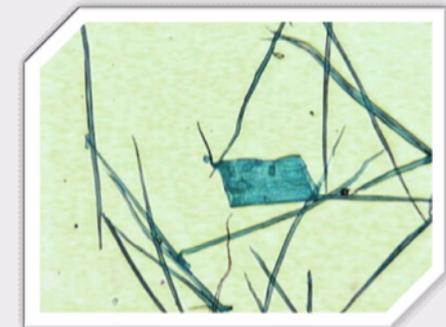
Tipos de células: elementos de vaso, fibras, parênquima radial e axial



Arranjo estrutural do lenho de uma folhosa (*Eucalyptus delegatensis*) onde se podem observar os elementos de vasos (V), fibras (F) e raios uniseriados. [Butterfield, 2003]

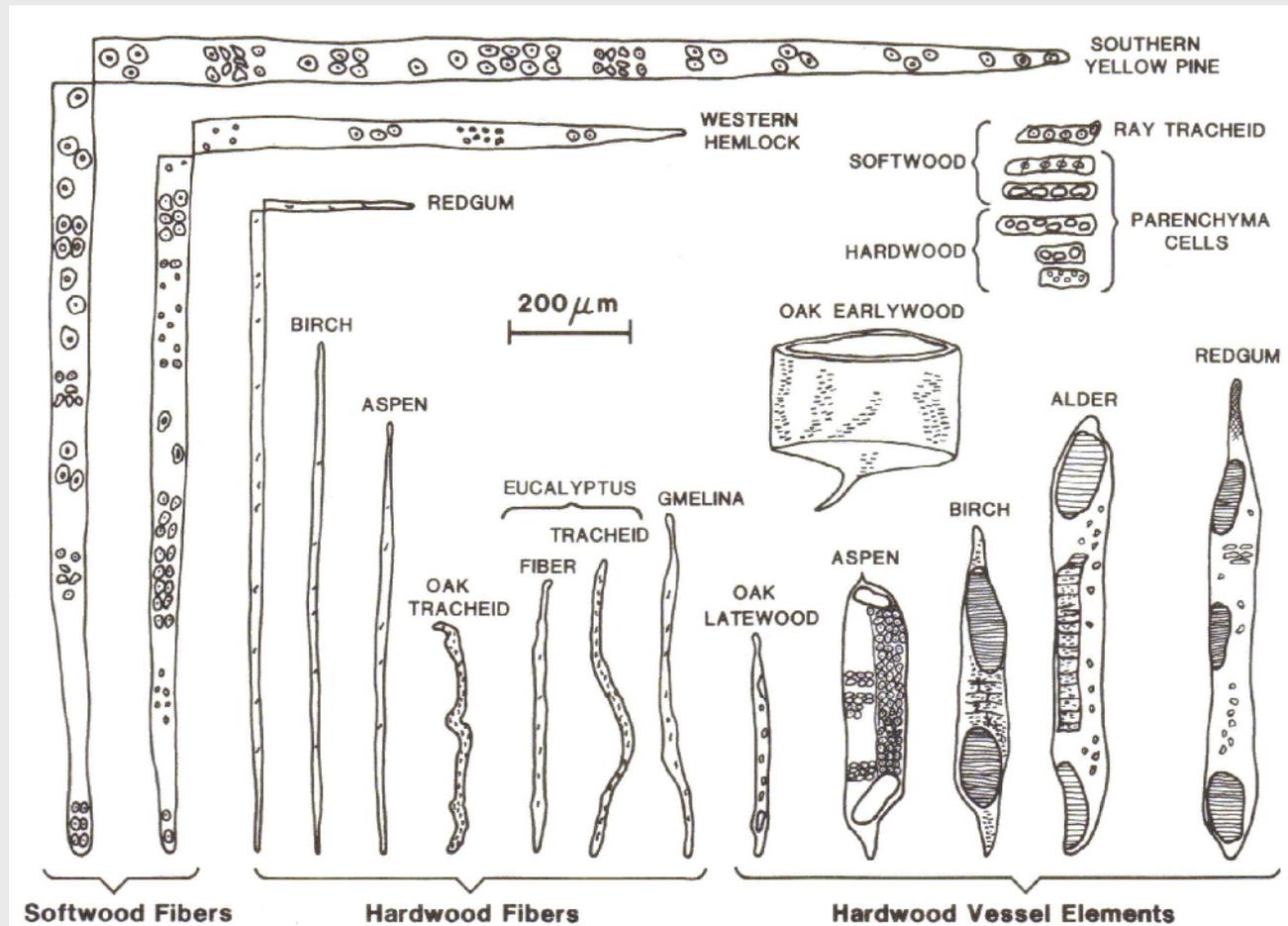


Lenho da *Eucalyptus globulus* (A) onde não é possível visualizar os anéis de crescimentos anuais, ao contrário do que acontece com a *Eucalyptus gigantea* (B)



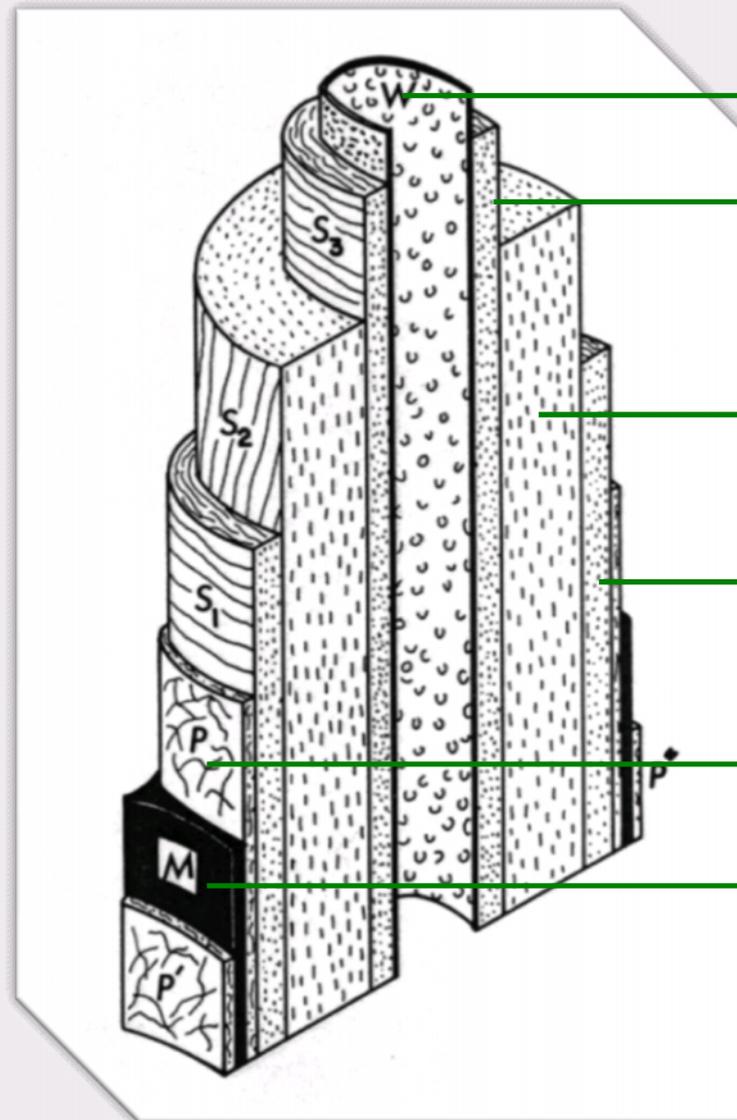
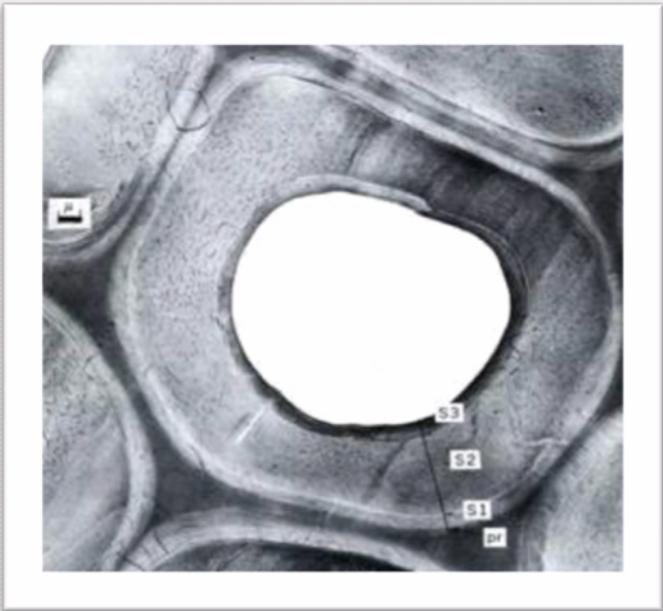
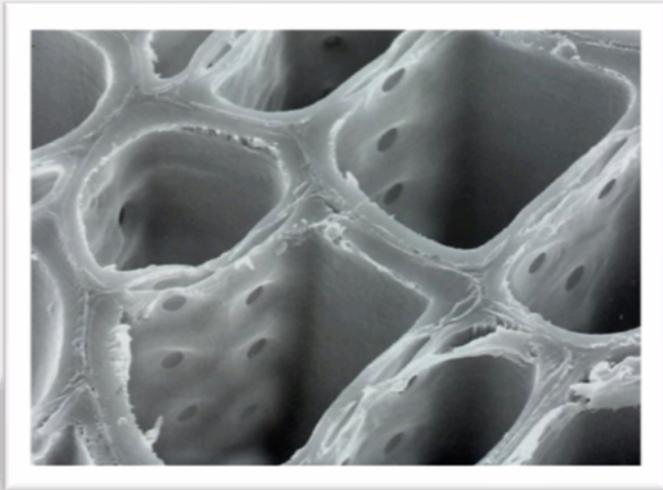
# ELEMENTOS FIBROSOS

As fibras vegetais sob o ponto de vista papeleiro são classificadas em fibras longas (2-5 mm) e fibras curtas (0,5-1,5 mm). São designados por acessórios elementos fibrosos com dimensões inferiores 0,4 mm por diminuírem a qualidade da pasta)



[Parham, RA. 1983]

# PAREDE CELULAR



Camada verrugosa

Parede secundária (S1)

Parede secundária (S2)

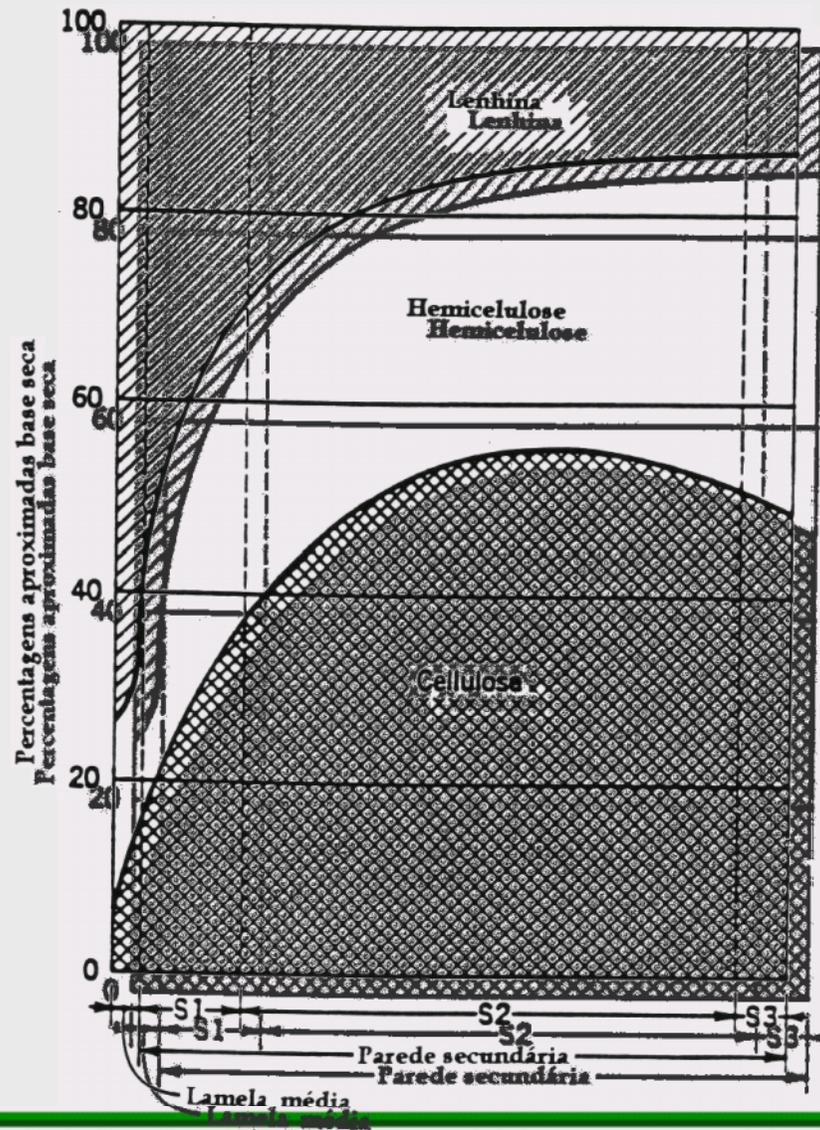
Parede secundária (S3)

Parede primária

Lamela

# COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Distribuição dos componentes macroestruturais ao longo da parede celular



# COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química dos materiais lenhocelulósicos corresponde à composição química das suas paredes celulares

	CINZAS (%)	EXTRACTIVOS (%)	LENHINA (%)	CELULOSE (%)	HEMICELULOSES (%)
Madeira Folhosas	< 1	2	20	39	35
Madeira Resinosas	1	3	28	41	24
Palha trigo	7	12	17	40	28
Palha arroz	16	18	12	30	25
Bagaço	2	18	19	34	29

# TIPOS DE PASTAS PARA PAPEL E CARTÃO



# PASTAS PARA PAPEL E CARTÃO

Produção de pastas para papel tem como objectivo principal a remoção da lenhina de modo a individualizar (separar) os diferentes elementos fibrosos da madeira. Neste processo pode-se utilizar energia química (a lenhina é removida por dissolução química), mecânica (os elementos fibrosos separados por abrasão), térmica (a lenhina é amolecida) ou combinação entre elas. As propriedades da celulose e papel irão depender especialmente do processo de obtenção da pasta utilizado pelo fabricante.

	Rendimento (%)*
Pasta mecânica (MP)	98-95
Pasta termo-mecânica (TMP)	95-85
Pasta semi-química (CTMP)	85-65
Pasta química (CP)	40-58



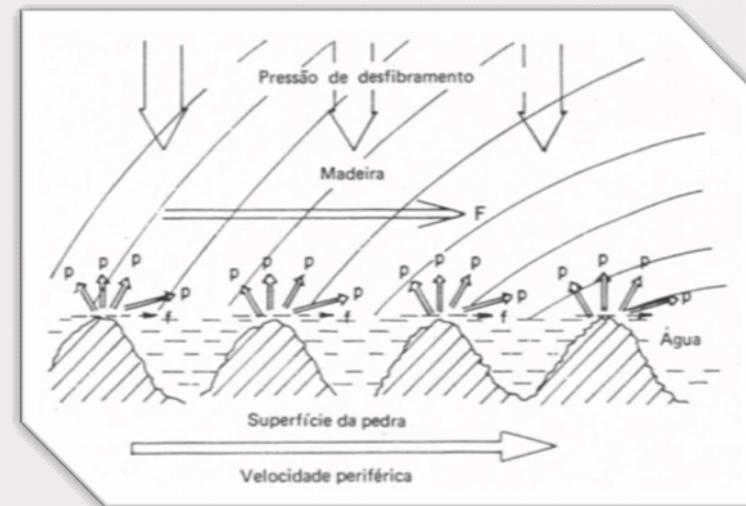
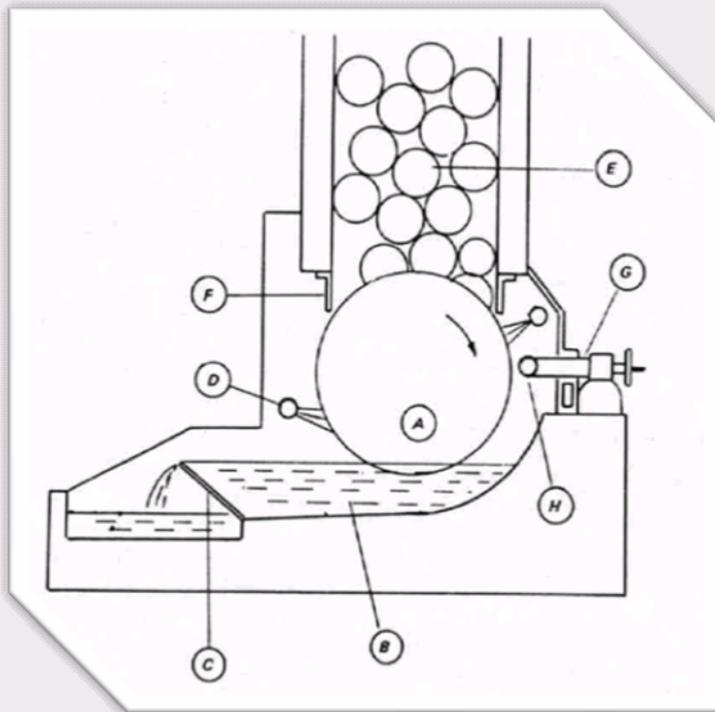
(\*) Rendimento em pasta = é o quociente entre a quantidade de matéria fibrosa total e a quantidade de estilhas ou aparas introduzidas no digestor.

$$\text{Rendimento total (\%)} = \text{Rendimento crivado (\%)} + \text{Incozidos (\%)}$$

# PASTAS MECÂNICAS

PASTA MECÂNICA DE TRITURAÇÃO (SGW): Pasta obtida por trituração da madeira em fibras relativamente curtas. Esta pasta é utilizada principalmente na produção de papel de jornal.

PASTA TERMO-MECÂNICA (TMP): Pasta obtida por um processo termo-mecânico, no qual as aparas de madeira são “amolecidas” por vapor antes de passarem para um refinador pressurizado. As TMP são utilizadas principalmente nos mesmos tipos de papel das pastas mecânicas.



# PASTAS SEMI-QUÍMICAS

PASTAS SEMI-QUÍMICAS: Pasta produzida por um processo com duas fases que envolve uma digestão parcial com produtos químicos, seguida por um tratamento mecânico, em refinador de disco. Esta pasta é principalmente utilizada na produção de folhas “fluting” para cartão canelado.

PASTAS QUÍMICO TERMO-MECÂNICA: Pasta produzida por um processo semelhante ao utilizado para a pasta termo-mecânica (TMP) mas, as estilhas de madeira são sujeitas a um tratamento químico antes de entrarem nos refinadores. Esta tipo de pastas têm características apropriadas para o fabrico de “tissues”. Alguma CTMP são utilizadas no fabrico de alguns tipos de papel de impressão e escrita. As pastas CTMP são classificadas como pastas semi-químicas no Sistema Harmonizado do Conselho de Cooperação Aduaneira. Nas estatísticas da FAO e também em outras estatísticas da indústria, estas pastas químico termo-mecânica são agrupadas como pastas mecânicas.



# PASTAS QUÍMICAS

PASTAS QUÍMICAS AO SULFATO (OU KRAFT): Pasta produzida pelo cozimento de estilhas de madeira num recipiente pressurizado (digestor) na presença de um licor de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfureto de sódio (Na<sub>2</sub>S). Esta pasta pode ser crua ou branqueada. Os usos finais são muito numerosos, sendo que a pasta branqueada é utilizada no fabrico de papéis de usos gráficos, “tissues” e cartolinas. A pasta crua é utilizada geralmente para “liner”, para cartão canelado, papéis de embrulho, papéis de embalagem (sacos), envelopes e outros papéis especiais não branqueados.

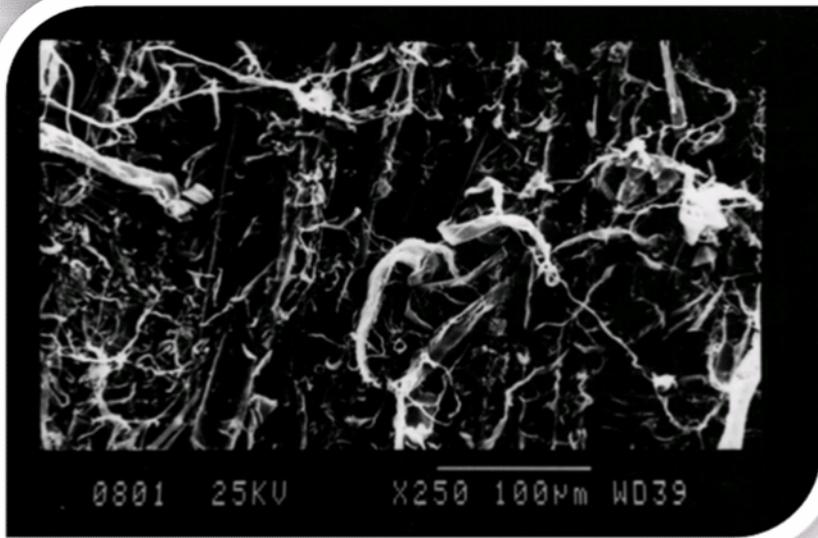
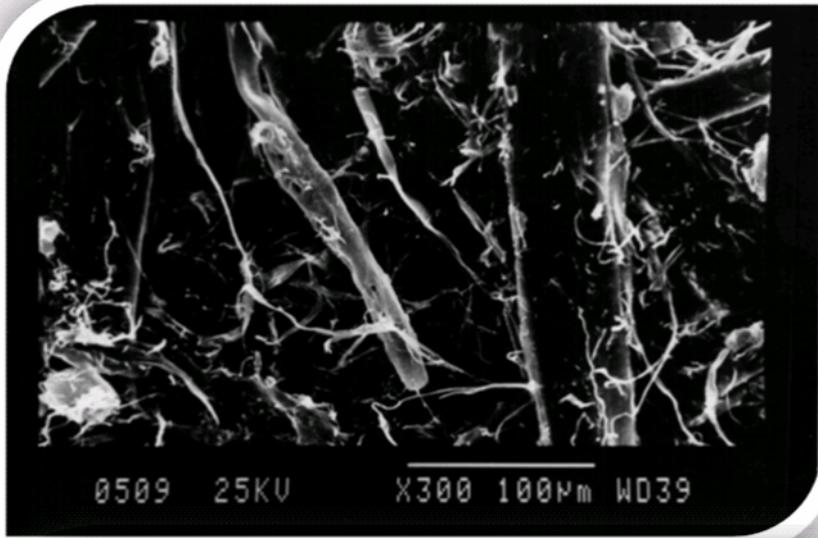
PASTAS QUÍMICAS AO SULFITO: Pasta produzida pelo cozimento de estilhas de madeira num recipiente pressurizado (digestor) na presença de um licor de sulfito de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) e hidróxido de sódio (NaOH). Esta pasta pode ser crua ou branqueada. Os usos finais são muito numerosos, é utilizada no fabrico de papéis de jornal, papéis de escrita, “tissues” e papéis de uso doméstico e sanitário.

ORGANOSOLVS (ASAM, ACEL, Organocell): Pasta produzida pelo cozimento de estilhas de madeira num recipiente pressurizado (digestor) na presença de um licor de base orgânica (Ác. Acético, Ác. Fórmico, metanol, etanol)

PASTAS SOLÚVEIS: Estas pastas podem ser ao sulfito ou ao sulfato, branqueadas, intensamente refinadas com um alto teor em fibras puras de alfa-celulose. O seu uso final é a produção de rayon, celofane, acetato, explosivos e também utilizadas no fabrico de papéis especiais.

# PASTAS PARA PAPEL E CARTÃO

Pastas termo-mecânicas

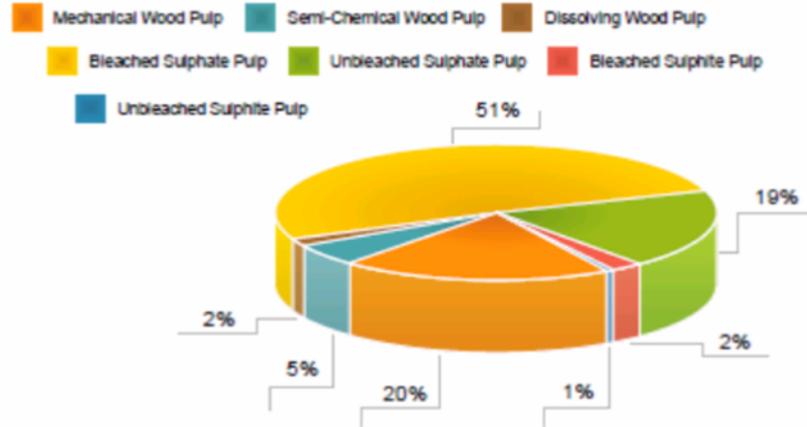


Pastas químicas

# PASTAS E PRODUTOS

Distribuição da Produção Global de Pastas para Papel por Tipo de Pasta

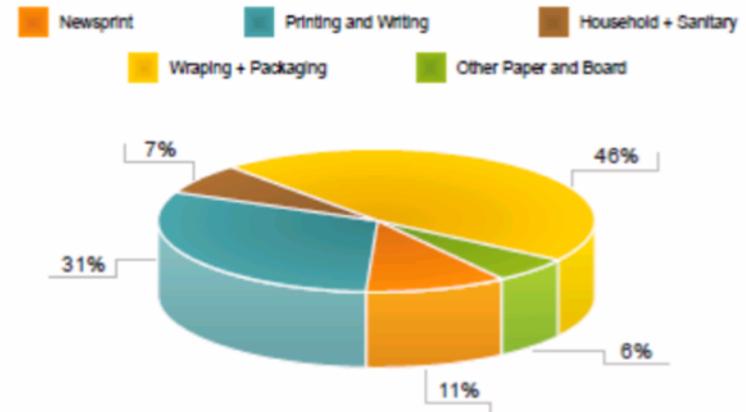
Fonte: FAO



As pastas químicas constituem a maioria das pastas produzidas a nível global (73%), seguidas das pastas mecânicas (20%). Entre as pastas químicas, as pastas ao sulfato constituem o produto dominante, com 96% da produção. A maioria (73%) das pastas ao sulfato é branqueada

Distribuição da Produção Mundial de Papel e Cartão por Tipo de Produto em 2006

Fonte: FAO

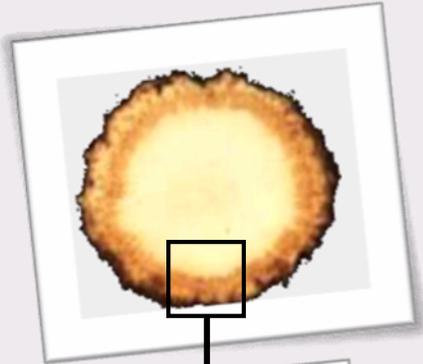


Os papéis de embalagem e embrulho constituem a maior proporção do papel e cartão produzido a nível global (46%), seguidos dos papéis para impressão e escrita (31%). Entre os restantes tipos de papel e cartão predominam o papel de jornal (10%) e os papéis de uso doméstico e sanitário (7%).

[CELPA, 2007]

# NÃO LENHOSAS (Nonwood fibres)

Cardo (*Cynara cardunculus* L.)



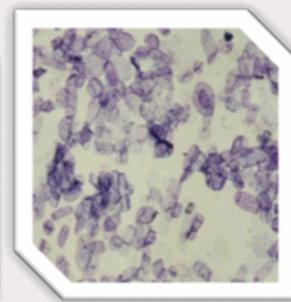
Corte transversal



Elementos dissociados



Fibras



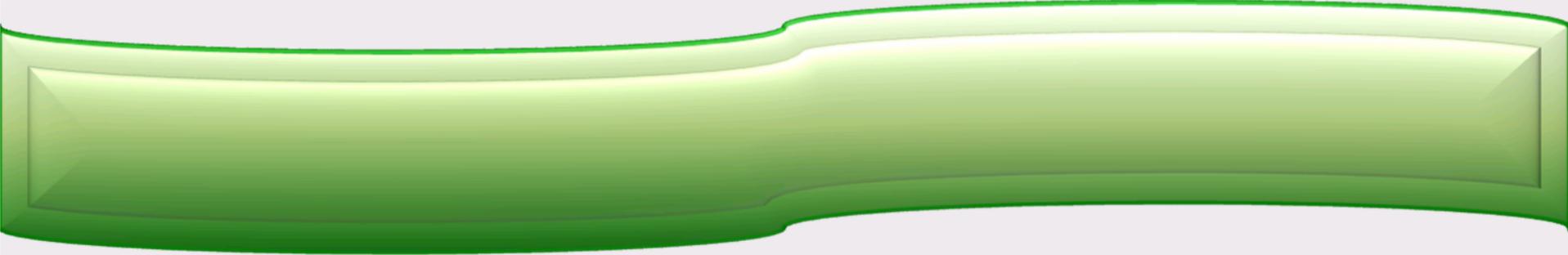
Células de parênquima



Vaso espiralado



Vaso reticulado

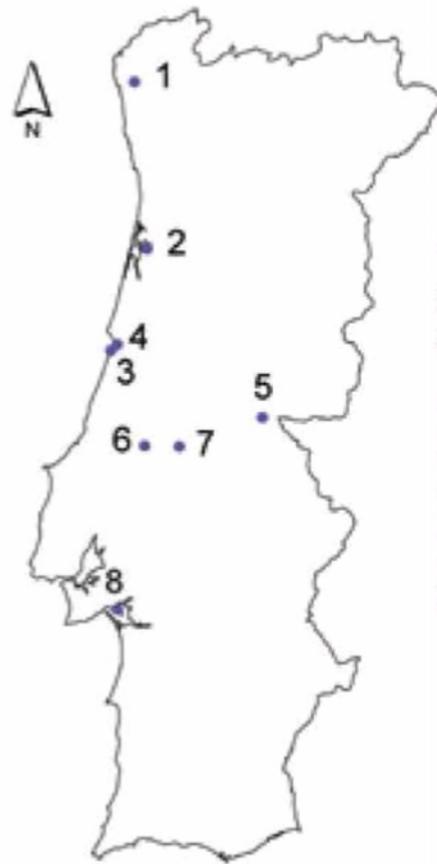


# CARACTERIZAÇÃO ECONÓMICA



# INDÚSTRIA DE PASTA E PAPEL EM PORTUGAL

## Localização das unidades Industriais e caracterização do sector



- 1 Portucel Viana, S.A.
- 2 Portucel, S.A. (Cacia)
- 3 Celbi, S.A.
- 4 Soporcel, S.A. (Lavos)
- 5 Celtejo (Rodão)
- 6 Renova, S.A.
- 7 Caima, Indústria de Celulose, S.A.
- 8 Portucel, S.A. (Setúbal)

[CELPA, 2005]

# PASTAS PARA PAPEL PRODUZIDAS EM PORTUGAL

## Caracterização do Sector

	Site Industrial	Principais Produtos
Caima	Constância	Pasta Branqueada de Eucalipto ao Sulfito
Celbi	Leirosa	Pasta Branqueada de Eucalipto ao Sulfato
Portucel	Cacia Setúbal	Pasta Branqueada de Eucalipto ao Sulfato Papéis de Impressão e Escrita Não-Revestidos
Celtejo	Vila Velha de Ródão Cacia (CPK)	Pasta Crua de Eucalipto ao Sulfato Pasta Crua de Pinho ao Sulfato Kraft Sacos
Portucel Viana	Deocriste	Pasta Crua de Eucalipto e de Pinho ao Sulfato Pasta de Papéis Recuperados Papel Kraftliner
Renova	Torres Novas (Fab. 1) Torres Novas (Fab. 2)	Pasta de Papéis Recuperados Papéis de Uso Doméstico e Sanitário Papel de Embrulho e Embalagem Papéis de Impressão e Escrita
Soporcel	Lavos	Pasta Branqueada de Eucalipto ao Sulfato Papéis de Impressão e Escrita Não-Revestidos

[CELPA, 2007]

# INDICADORES DE PRODUÇÃO

## Indicadores de Produção - Indústria de Pasta

	2006	2007	Δ 07/06
Aquisição de Madeira (Milhões m <sup>3</sup> eq. s/casca)	5,898	7,058	+19,7%
Consumo de Madeira (Milhões m <sup>3</sup> eq. s/casca)	6,452	6,708	+4,0%
Consumo de Papel Recuperado (Mil ton)	357,0	383,3	+7,4%
Produção de Pastas Virgens (Milhões ton)	2,064	2,092	+1,4%
Produção de Pastas de Fibra Recuperada (Mil ton)	349	358	+2,7%

## Indicadores de Produção - Indústria de Papel

	2006	2007	Δ 07/06
Consumo de Pastas para Papel (Milhões ton)	1,225	1,277	+4,3%
Produção Total de Papel (Milhões ton)	1,644	1,641	-0,2%
Produção de Papel de Usos Gráficos (Milhões ton)	1,045	1,056	+1,0%
Produção de Coberturas para Cartão Canelado (Milhões ton)	0,358	0,356	-0,4%
Produção de Papel e Cartão de Embalagem e Empacotamento (Milhões ton)	0,137	0,133	-2,4%
Produção de Papéis de Uso Doméstico e Sanitário (Milhões ton)	0,075	0,069	-8,6%

[CELPA, 2007]

# COMÉRCIO EXTERNO

Indicadores de Comércio Externo			
	2006	2007	Δ 07/06
Exportações de Pasta (Milhões ton)	1,019	1,010	-0,9%
Importações de Pasta (Milhões ton)	0,053	0,059	+10,6%
Exportações de Papel Recuperado (Milhões ton)	0,298	0,362	+21%
Exportações de Papel (Milhões ton)	1,290	1,330	+3,2%
Importações de Papel (Milhões ton)	0,970	1,043	+7,5%

[CELPA, 2007]

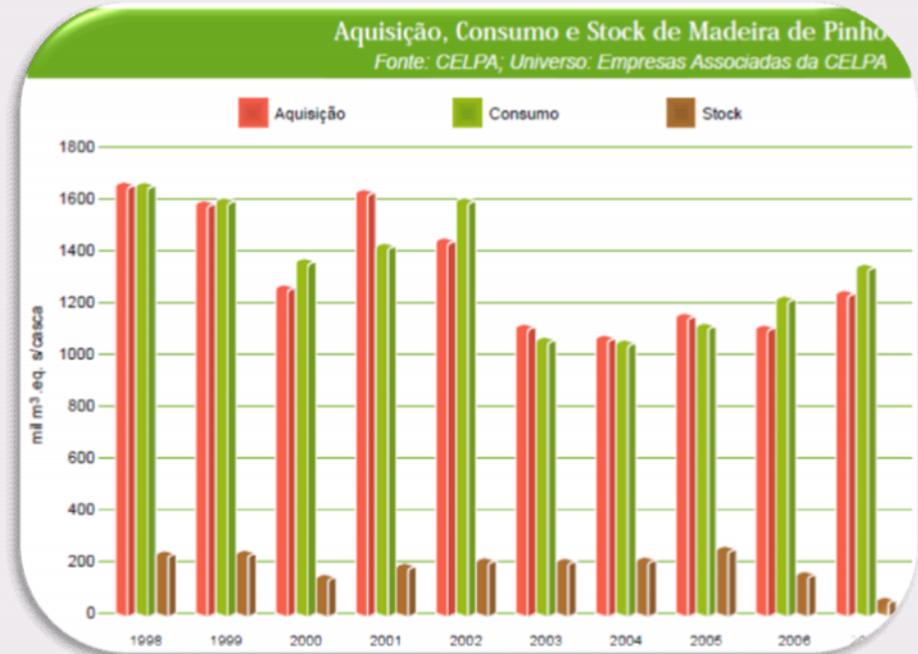
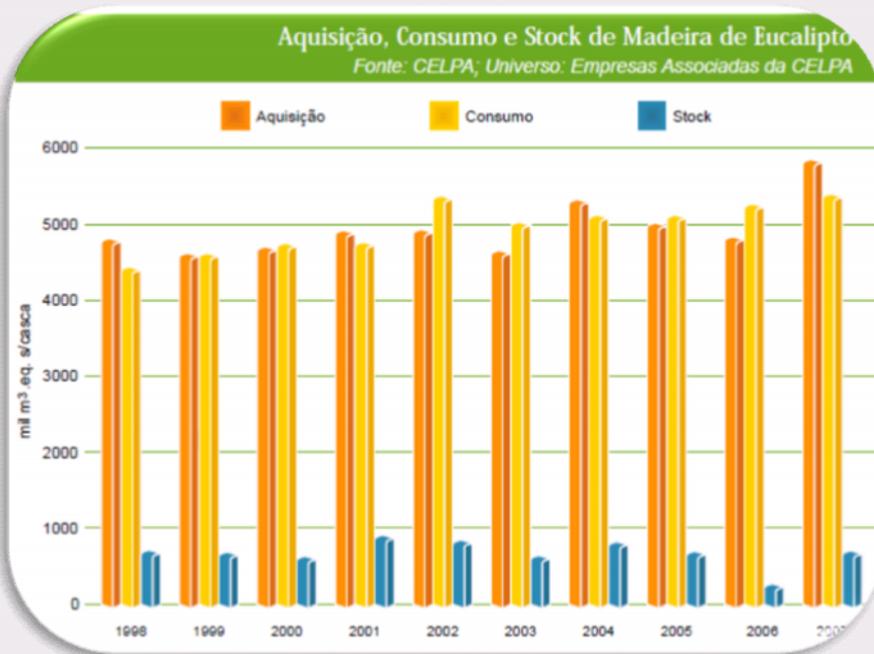
# INDICADORES ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

Indicadores Energéticos			
	2006	2007	Δ 07/06
Consumo de Combustíveis Fósseis (TJ)	13.709	13.177	-3,9%
Consumo de Biomassa (TJ)	39.130	39.992	+2,2%
Produção de Energia Eléctrica (MWh)	2.136.749	2.203.095	+3,1%
% do Total Nacional	4,1%	n.d.	-/-
Consumo de Energia Eléctrica (MWh)	1.782.258	1.791.891	+0,5%

Indicadores Ambientais			
	2006	2007	Δ 07/06
Consumo de Água (Milhões de m <sup>3</sup> )	96,3	93,2	-3,2%
Sólidos Suspensos Totais (Mil ton)	3,3	2,7	-17%
Carência Bioquímica de Oxigénio (Mil ton)	5,8	4,2	-27%
Gases Acidificantes (Mil ton SO <sub>2</sub> eq.)	4,4	4,0	-7,7%
Gases com Efeito de Estufa (Mil ton CO <sub>2</sub> eq.)	831	798	-4,0%

[CELPA, 2007]

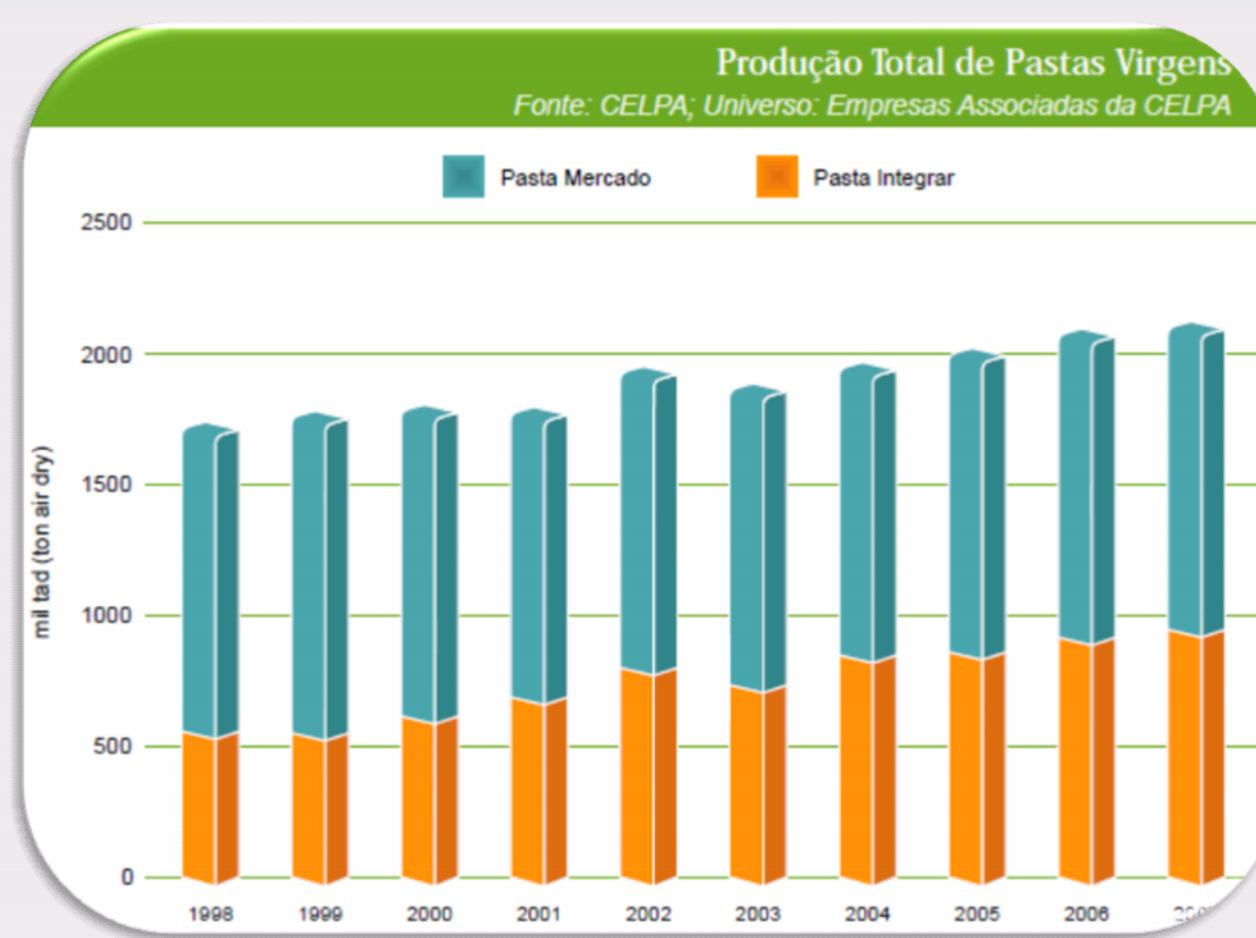
# CONSUMO DE MADEIRA



[CELPA, 2007]

# PRODUÇÃO DE PASTAS VIRGENS

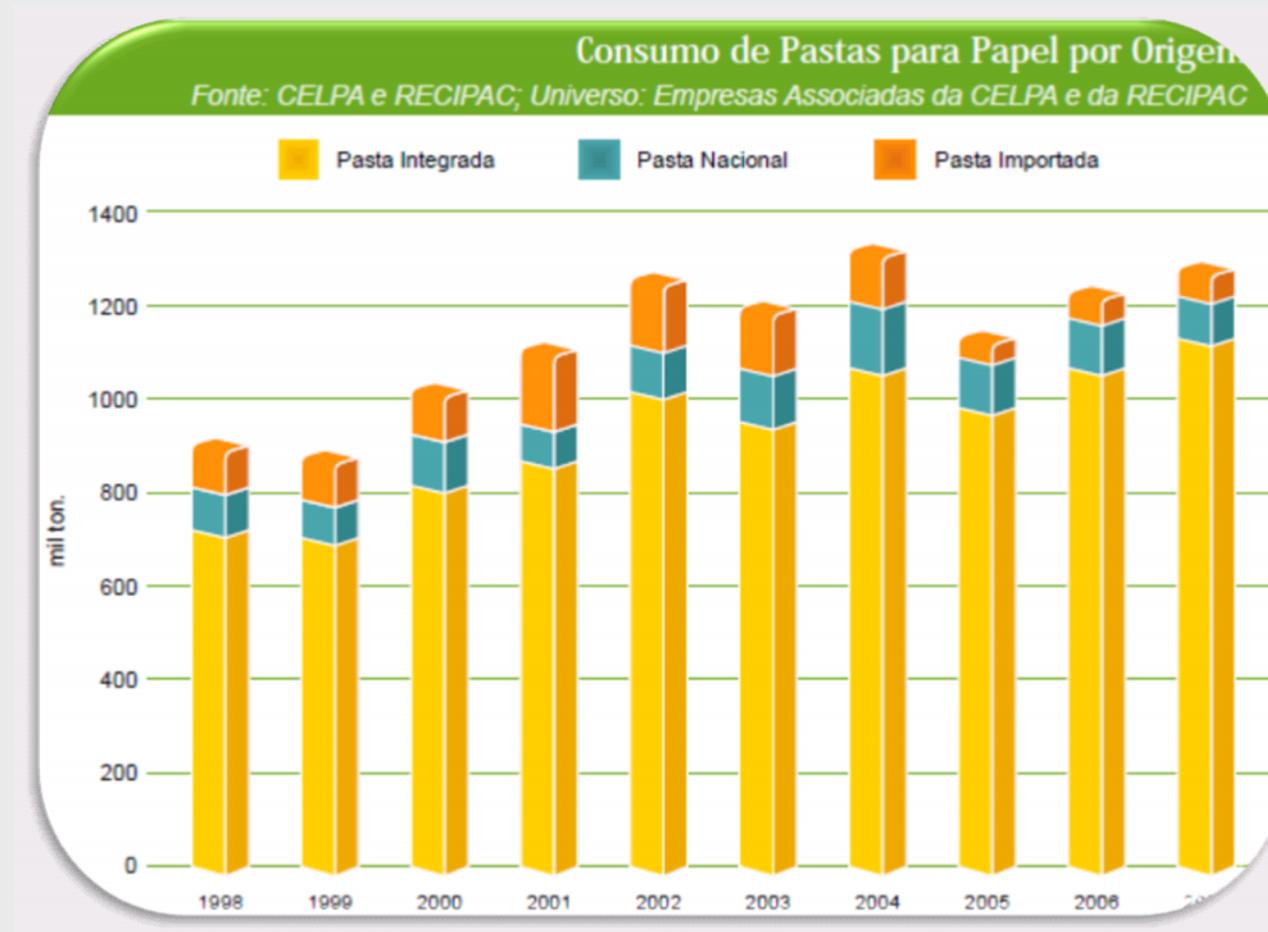
Pasta Integrada: Pasta produzida destinada directamente à produção de papel dentro da mesma unidade fabril.



[CELPA, 2007]

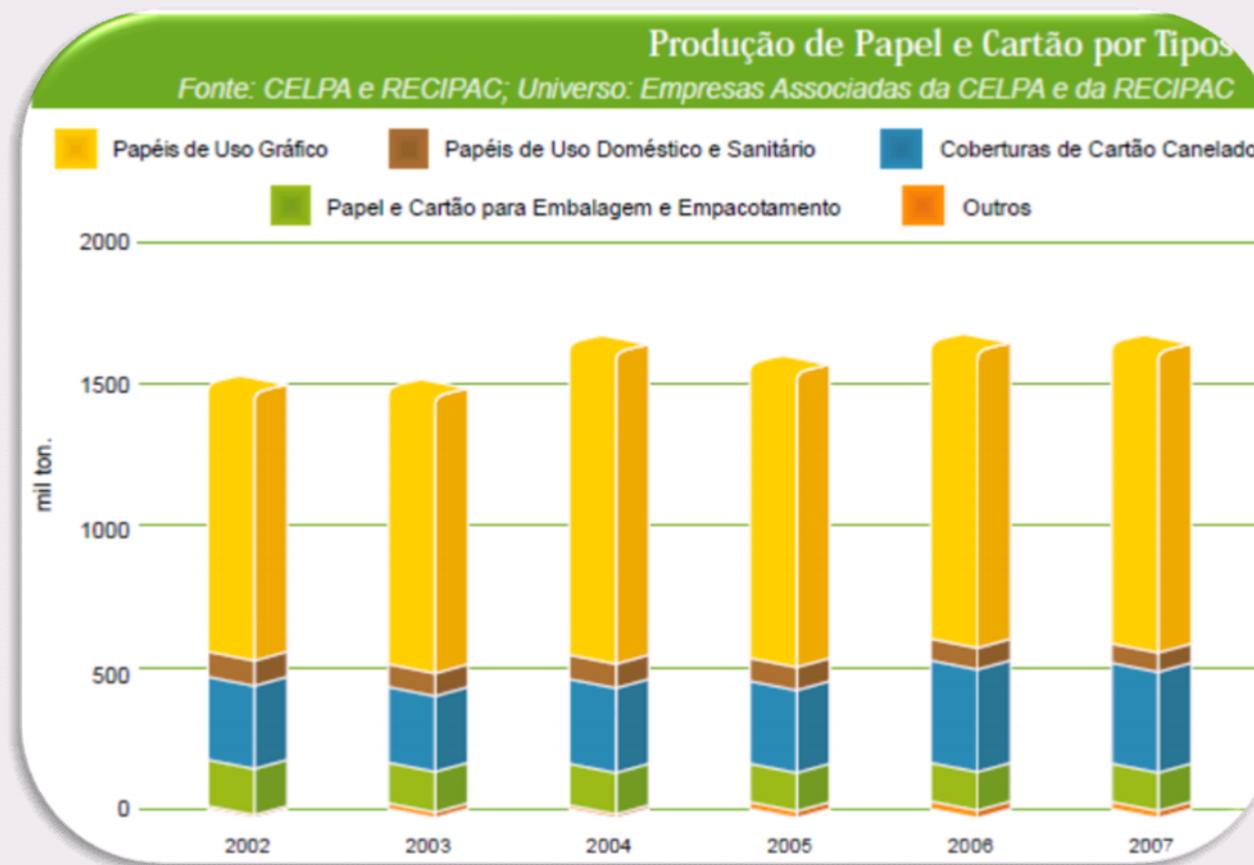
# CONSUMO DE PASTAS PARA PAPEL

Consumo de Pastas : Produção Integrada de Pastas + Pastas do Mercado Interno + Importações



[CELPA, 2007]

# PRODUÇÃO DE PAPEL E CARTÃO

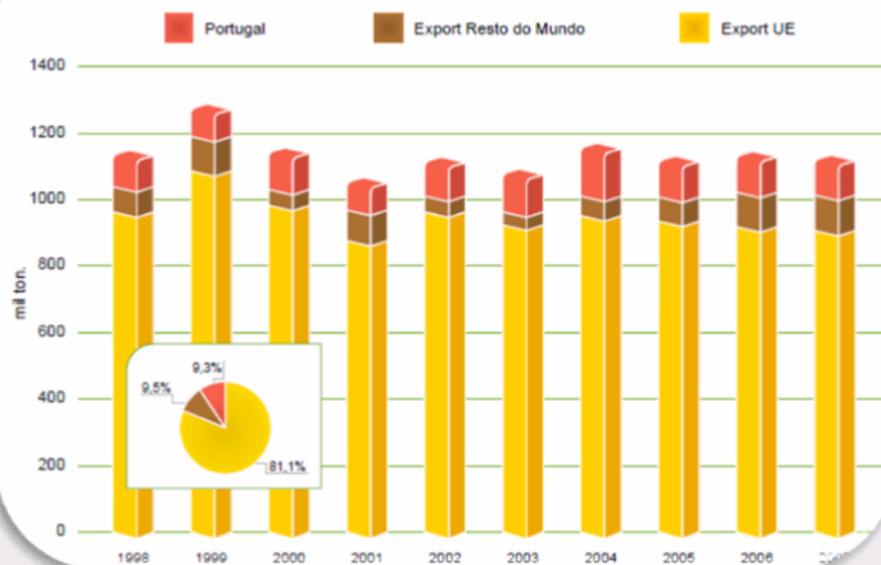


[CELPA, 2007]

# COMÉRCIO DE PASTA PARA PAPEL

Vendas de Pasta para Papel por Mercado

Fonte: CELPA; Universo: Empresas Associadas da CELPA



Importações Totais de Pasta para Papel

Fonte: INE

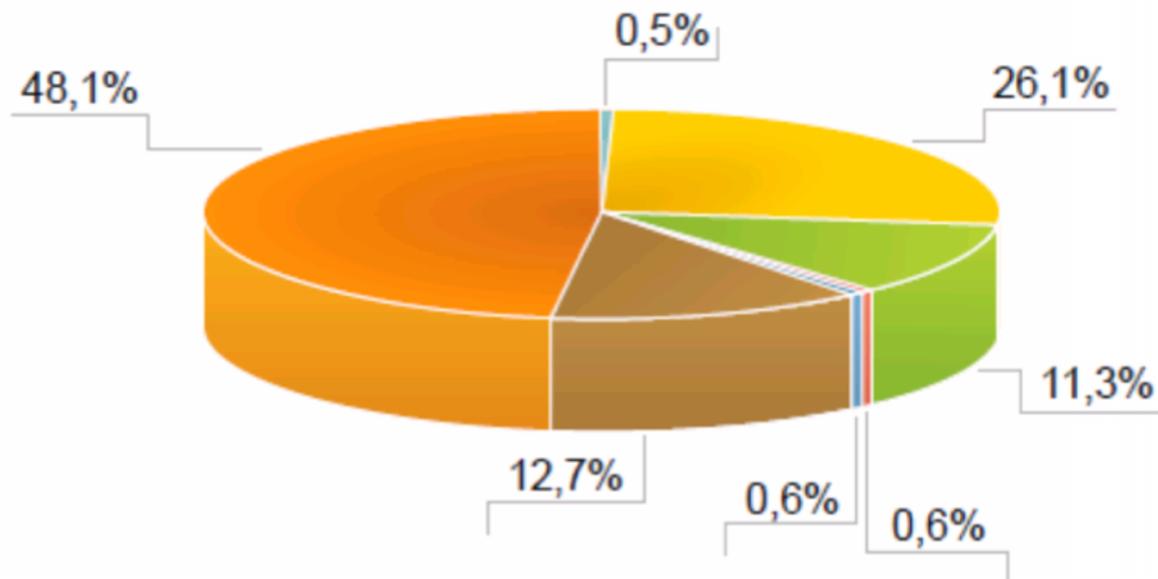


[CELPA, 2007]

# IMPORTAÇÕES DE PASTA PARA PAPEL

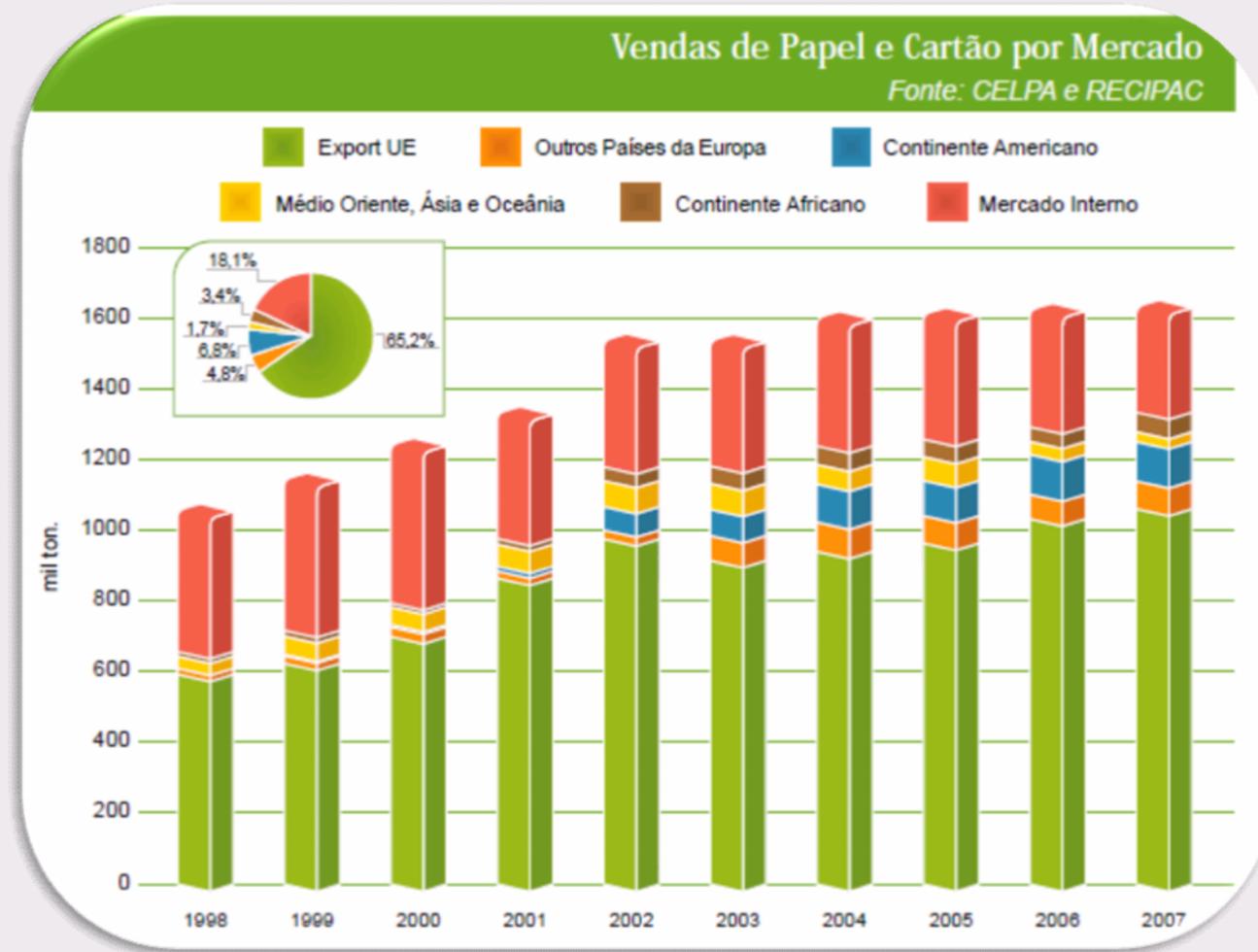
## Importações por Tipo de Pasta (2007)

Fonte: INE



[CELPA, 2007]

# COMÉRCIO DE PAPEL E CARTÃO

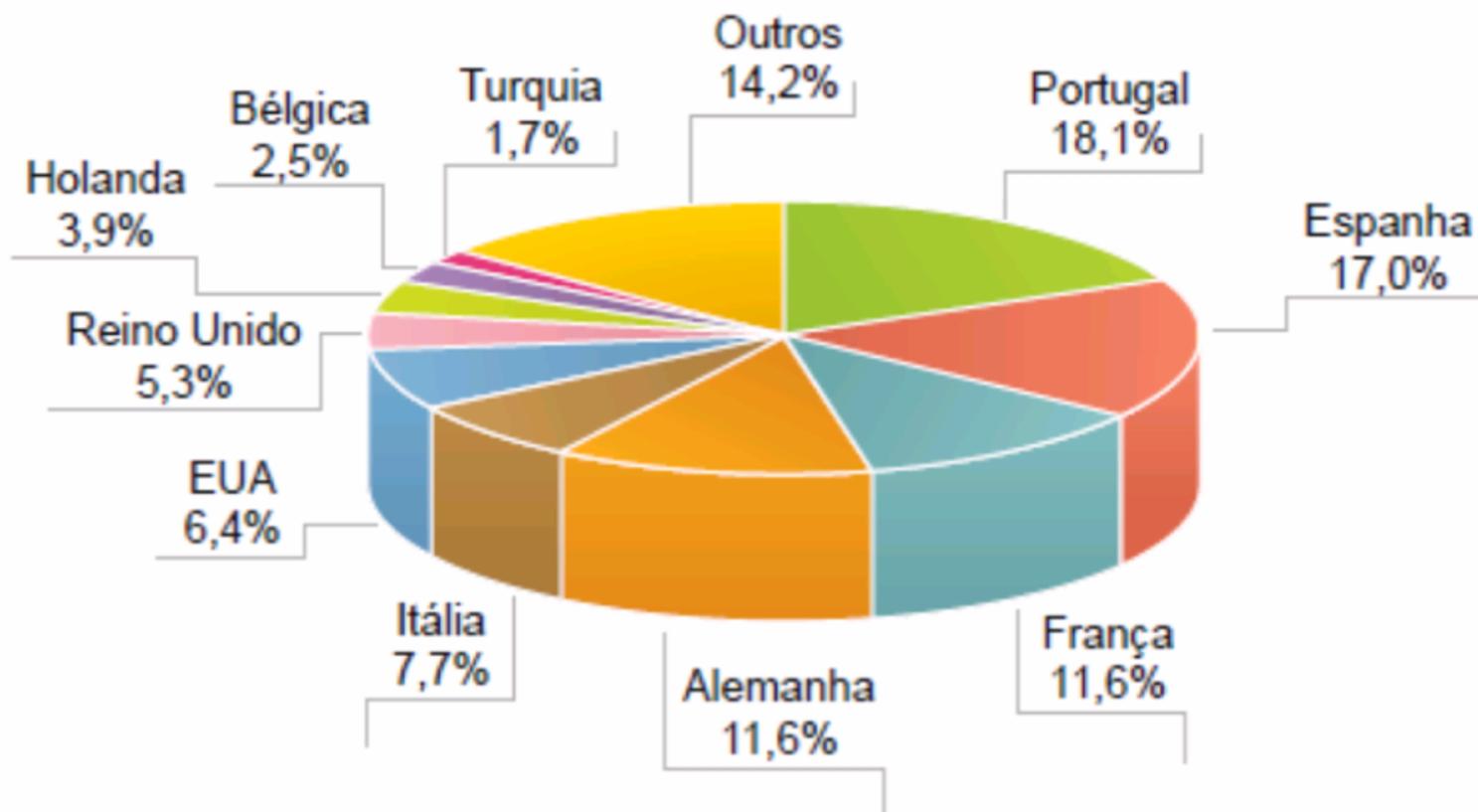


[CELPA, 2007]

# COMÉRCIO DE PAPEL E CARTÃO

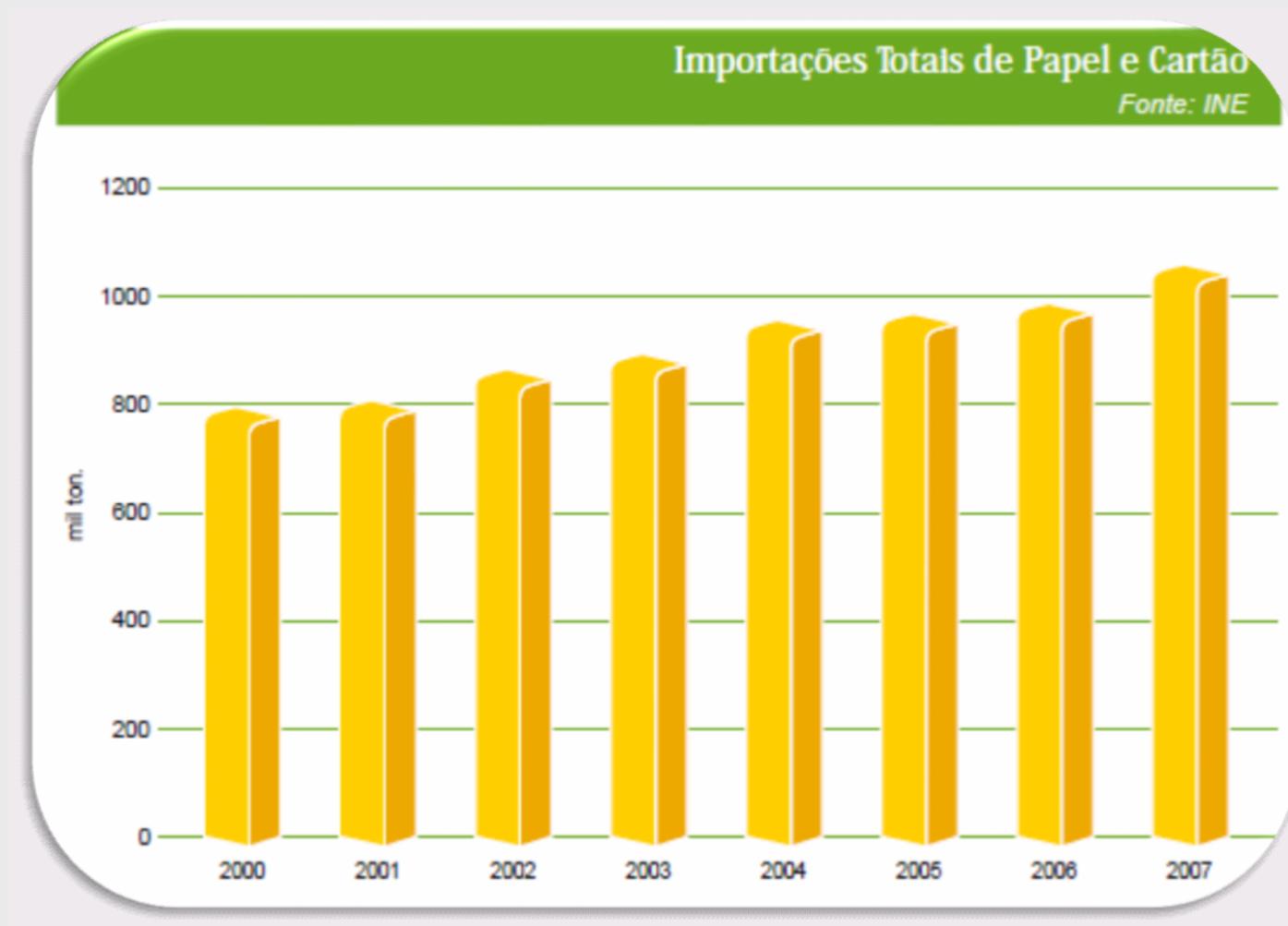
## 10 Principais Mercados de Papel e Cartão

Fonte: CELPA e RECIPAC



[CELPA, 2007]

# COMÉRCIO DE PAPEL E CARTÃO

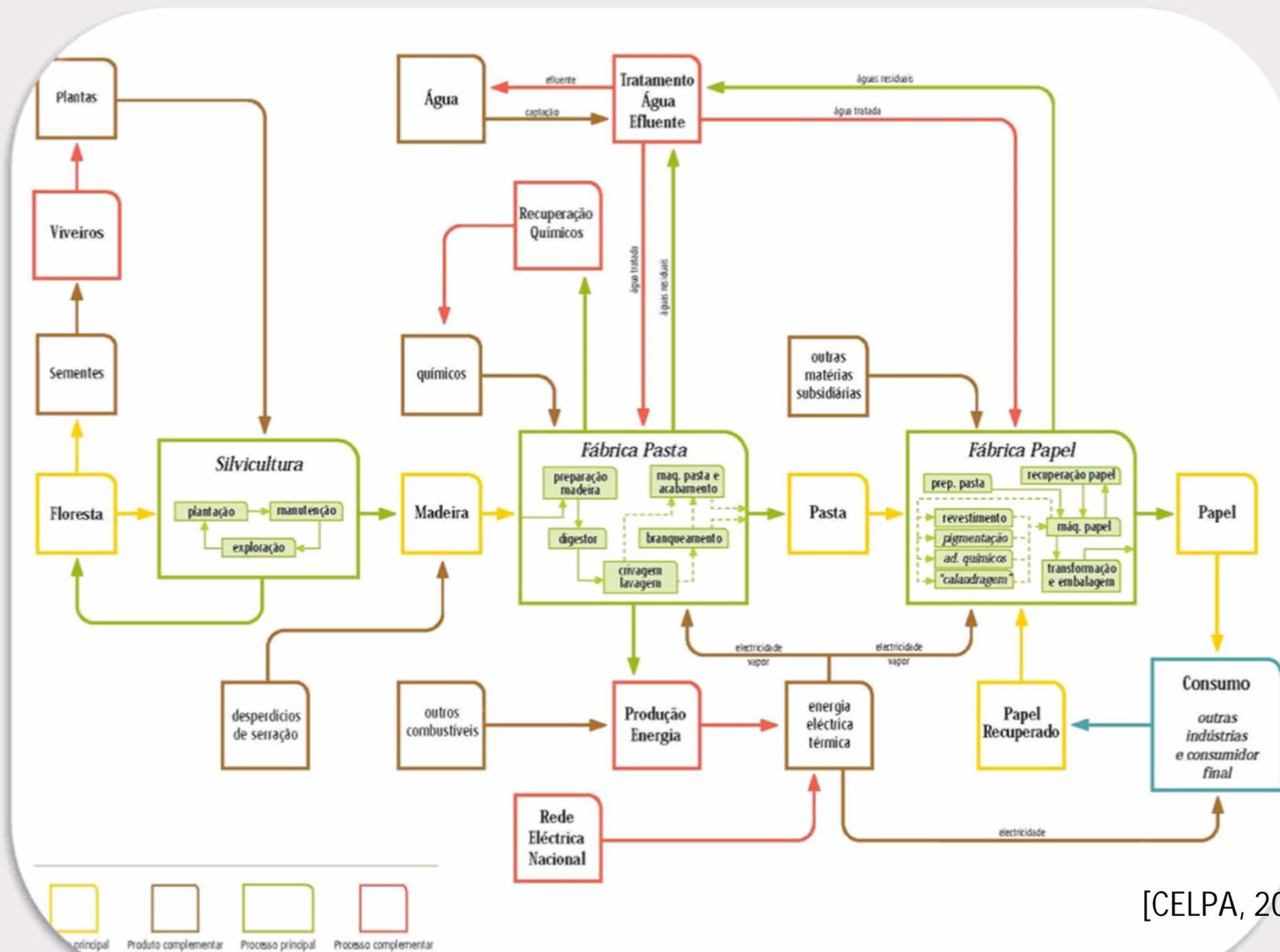


[CELPA, 2007]

# PROCESSO DE PRODUÇÃO



# ESQUEMA DO PROCESSO

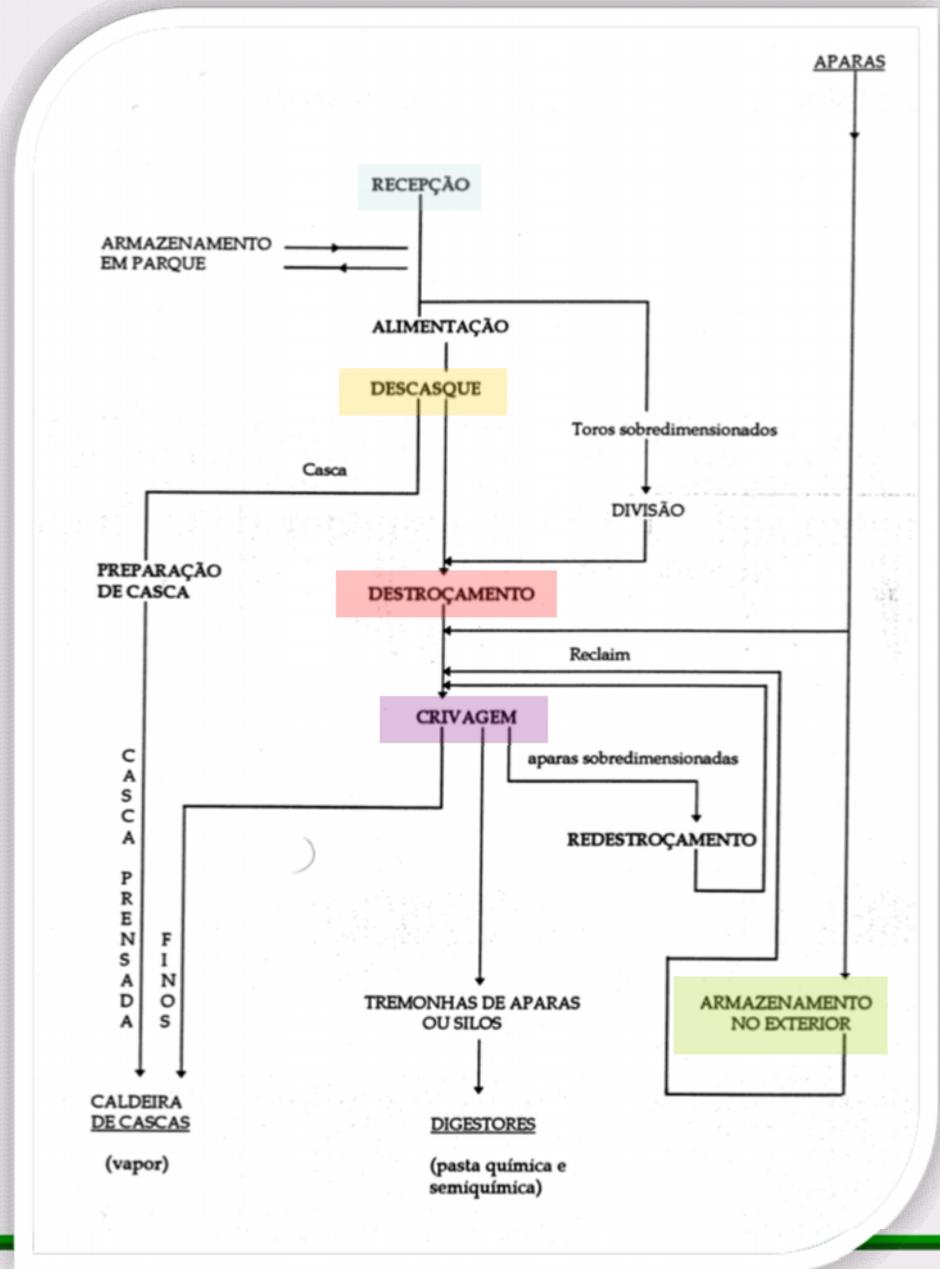


[CELPA, 2007]

# PROCESSAMENTO DA MADEIRA

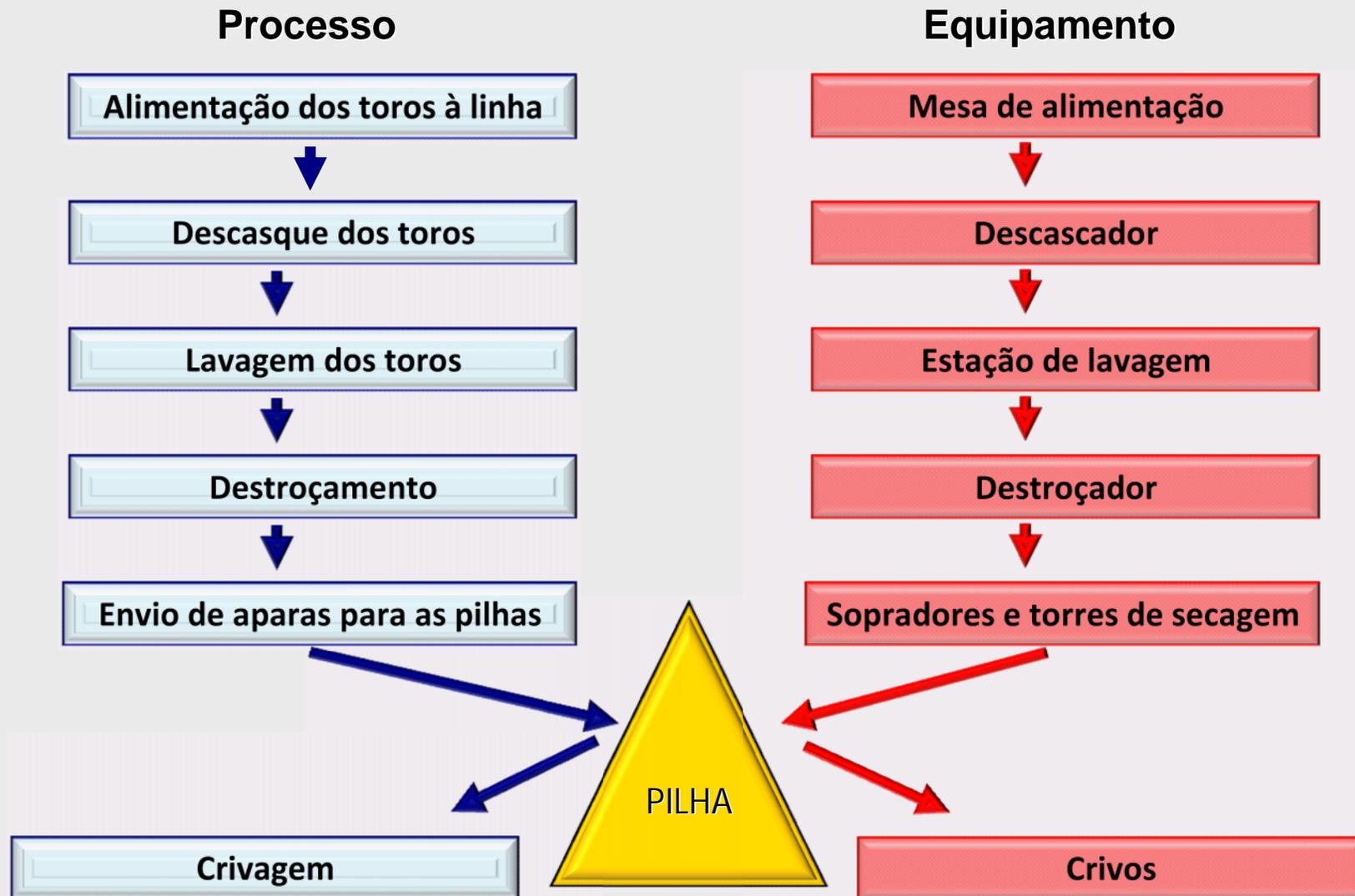


[CELPA, 2007]



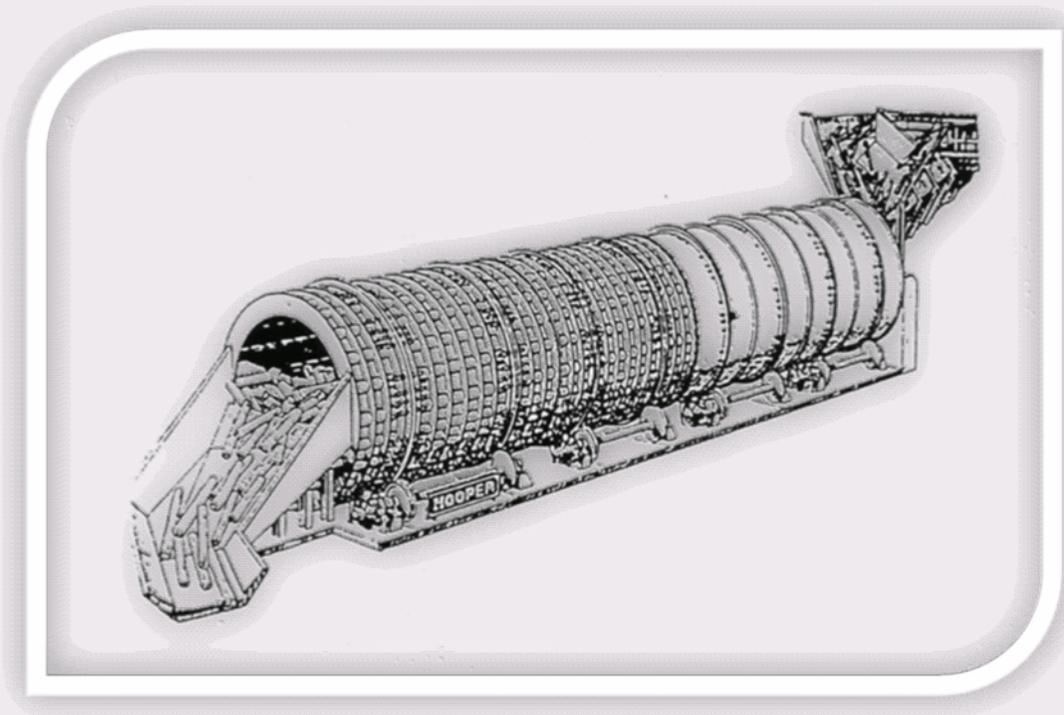
Jorge Gominho

# PROCESSO DE PRODUÇÃO DE APARAS



# DESCASQUE

Existem diferentes sistemas mecânicos usados para descascar madeira (por corte e por atrito). Vamos apenas referir o descascador de tambor (por atrito) por ser o mais utilizado pela indústria papeleira.



Comp.: 7-30m ;  $\varnothing$ : 2,5 a 5,5m

Descascador de tambor: A madeira é alimentada continuamente para um tambor cilíndrico rotativo, com ranhuras para permitir a saída das cascas.

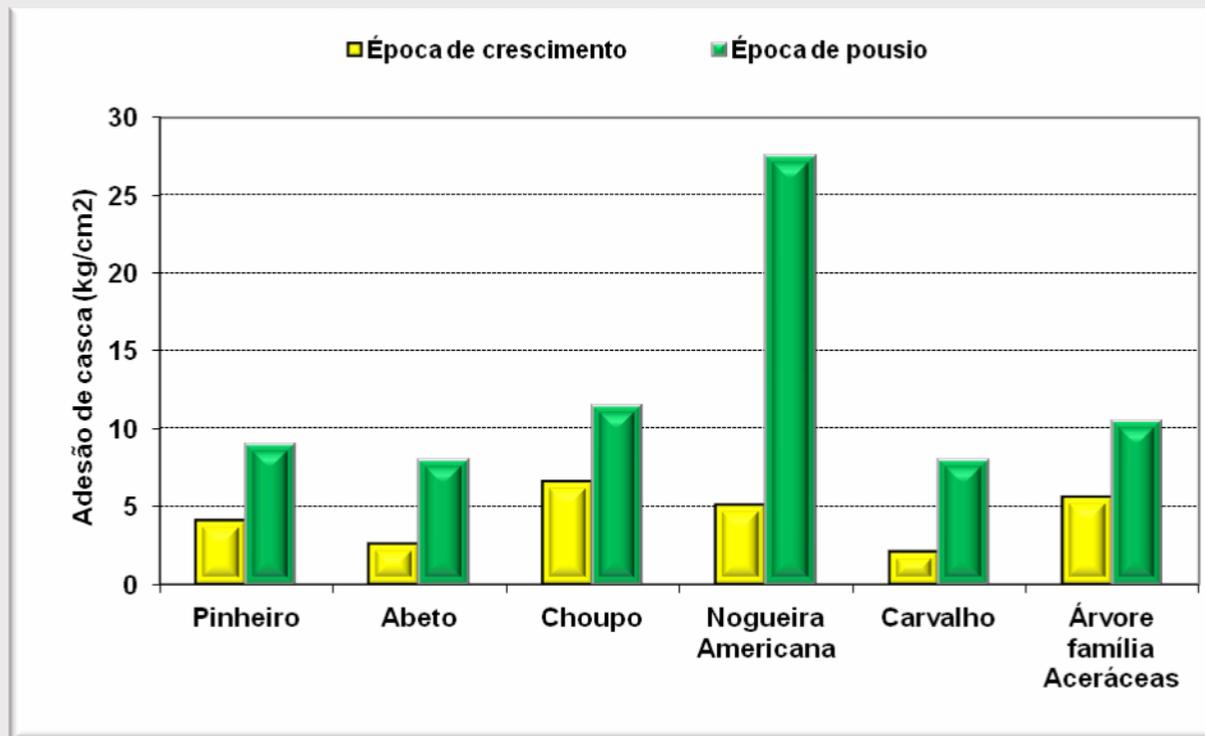
Descasque por fricção, choque em toros.

Parede interna do descascador está provida de saliências metálicas, que auxiliam na remoção das cascas.

Existe um aproveitamento da total das cascas, pois normalmente é utilizado como fonte de combustível (casca de eucalipto 4 000kcal/kg).

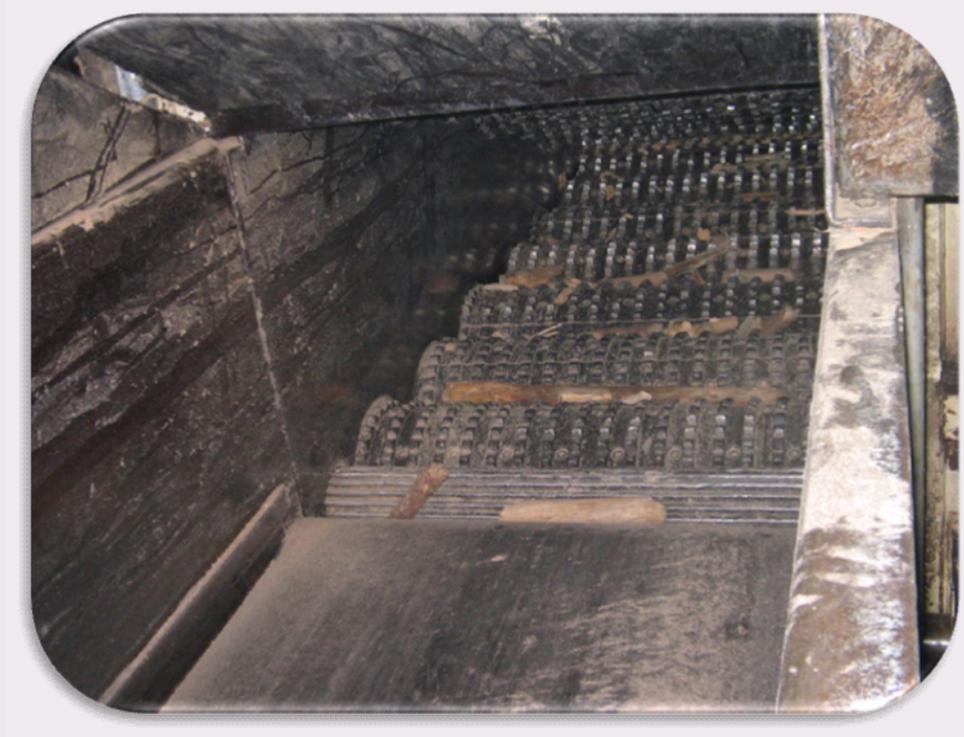
Eficiência do descasque depende: tipo de tambor, facilidade de saída da casca, grau de enchimento, tempo de residência, idade da madeira, grau de humidade

# FACILIDADE DE REMOÇÃO DA CASCA



Sazonalidade: A facilidade de saída da casca depende da altura do ano em que a madeira é colhida.

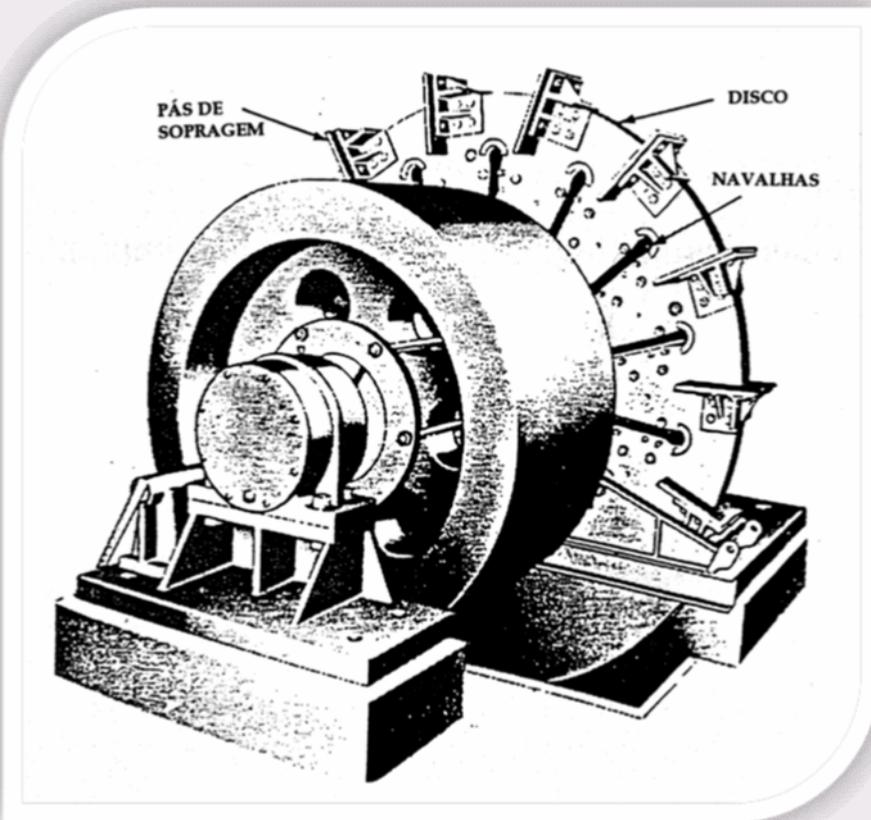
# Descasque



Para o descasque de madeira de eucalipto com casca, de corte não recente, torna-se necessário uma operação de pré-descasque antes da sua admissão no descascador o que não se justifica para a madeira cortada recentemente

# DESTROÇAMENTO (Produção de estilhas)

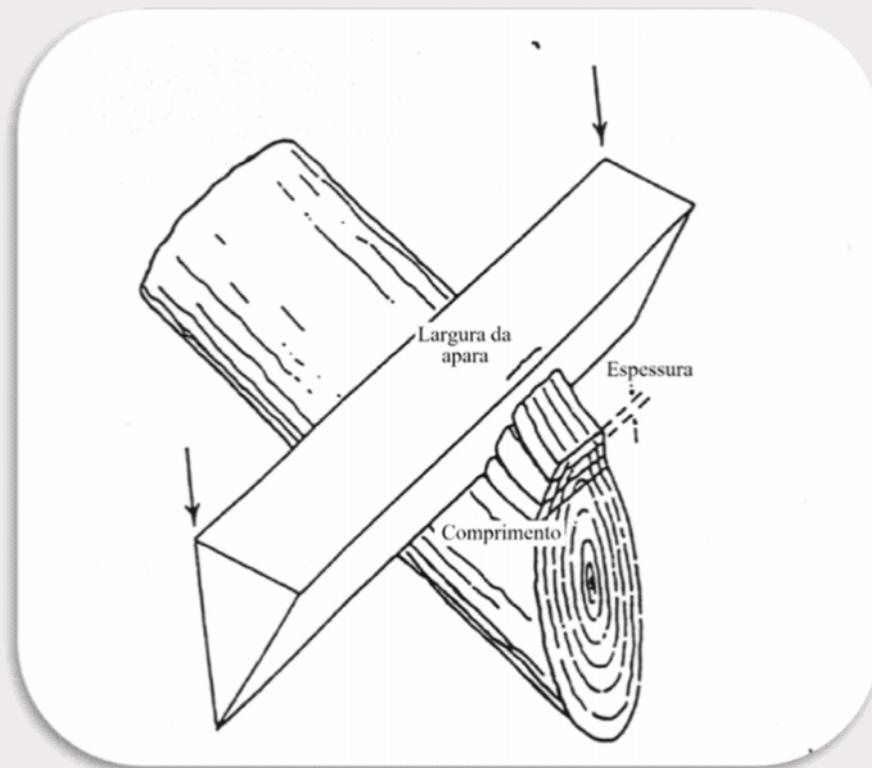
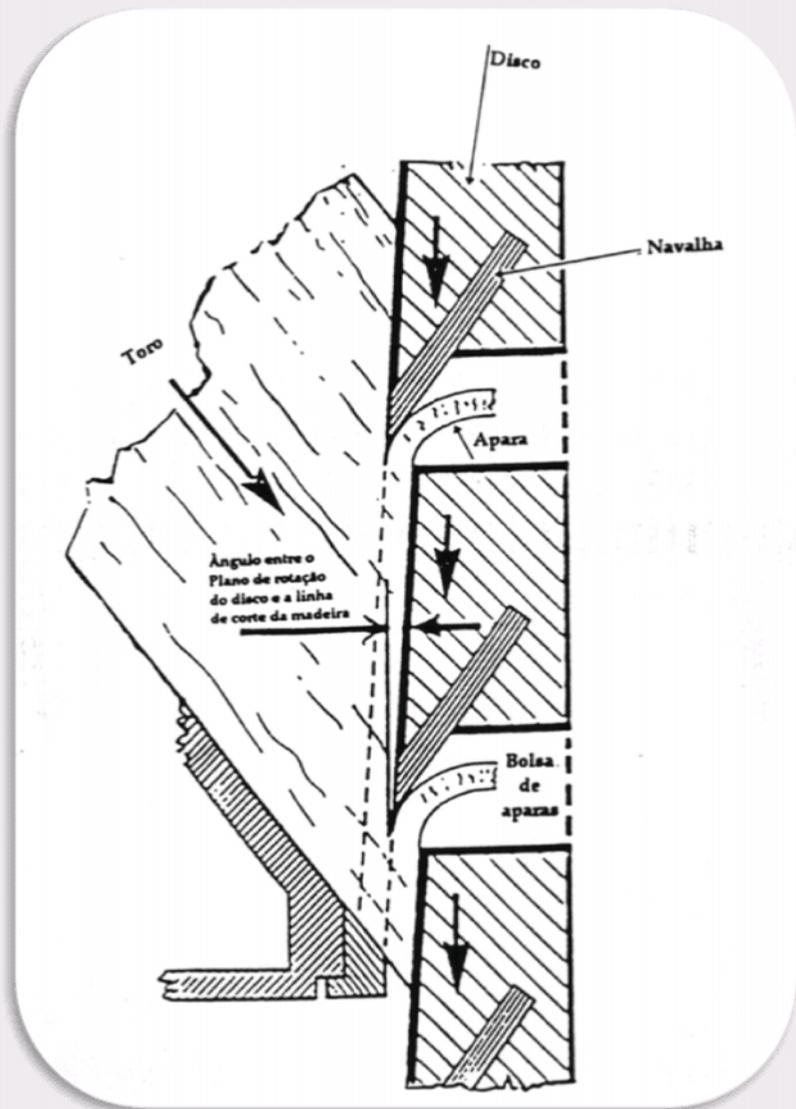
Reduzir os toros a fragmentos (estilhas ou aparas), cujo tamanho facilite a penetração do licor de cozimento.



$\varnothing = 2,9 \text{ m}$  ; Número de navalhas = 12

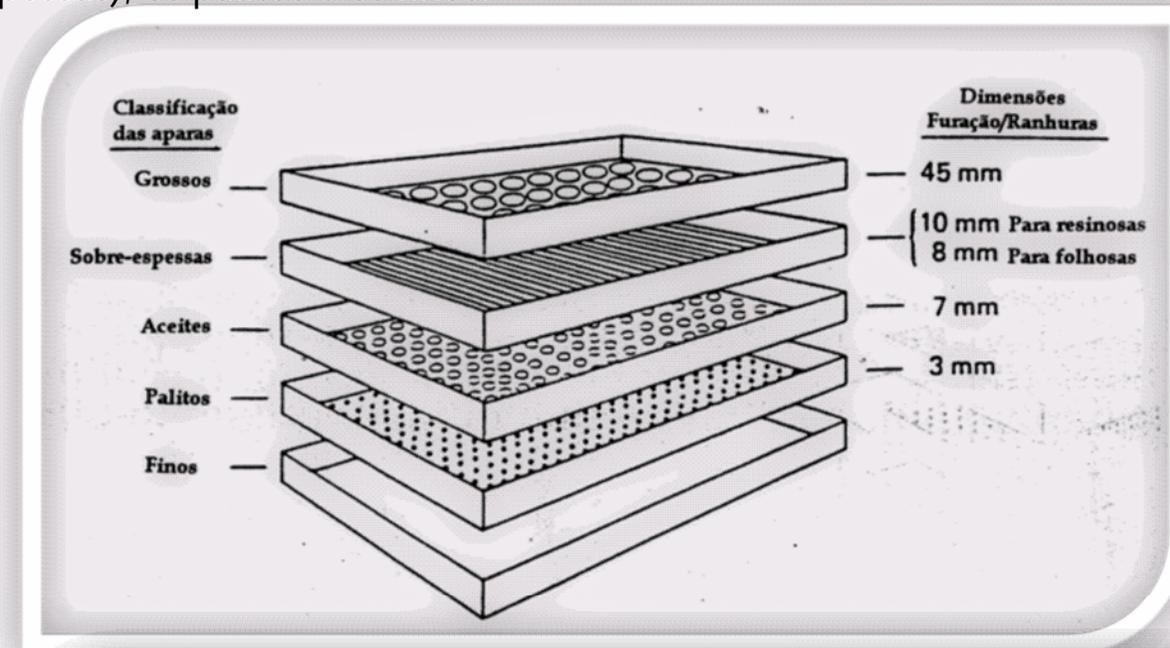


# DESTROÇAMENTO DA MADEIRA



# CRIVAGEM

Tem como objectivo separar e homogeneizar o tamanho das estilhas retirando as sobre dimensionadas (grossas e sobre espessas), os palitos e os finos.



Classificação de aparas	Dimensão das aparas retidas no crivo	Aparas de toros	Aparas de serração	Aparas de desperdícios de aglomerado
Grossos	+ 45 mm	2%	4%	1%
Sobre-espessas	+ 8 mm (hwds) + 10 mm (sftwds)	5	7	0
Aceites	+ 7 mm	81	71	75
Palitos	+ 3 mm	11	14	21
Finos	- 3 mm	1	4	3

# QUALIDADE DAS APARAS

A qualidade das estilhas são um factor muito importante na operação de cozimento e na qualidade do produto final. Estão dependentes das variáveis relacionadas com:

- a madeira: lenho de reacção, podridão
- o destroçamento: tamanho das estilhas, densidade, afiação das facas.

O tamanho das aparas ou estilhas e a sua uniformidade é muito importante pois:

- Aparas grandes promovem os incozidos
- Aparas pequenas podem obstruir a circulação de licor, e consumir grandes quantidades de produtos químicos
- Baixar o rendimento em pasta

Parâmetros de qualidade das aparas a ter em conta no controle de qualidade

Comprimento (uniforme)

Espessura (uniforme)

Grossos finos e palitos (poucos)

Densidade (uniforme)

APARA ÓPTIMA (22 mm x 12 mm x 7 mm)



# PREOCUPAÇÕES COM A PILHA DAS APARAS

Deterioração biológica ou microbiológica das aparas responsável por cerca de 1% de perda de massa por deterioração/mês.

- Teor de humidade > 30%  
(degradação lenta ou nula)

Molhar os toros com água de modo a manter a madeira saturada (limitando o teor de oxigénio).

- Secagem de madeira a < 30%  
diminuiria em muito a degradação mas:

é economicamente desfavorável .  
aumenta o risco de incêndio  
retarda a penetração do licor de cozimento

Outras condições que aceleram a degradação.

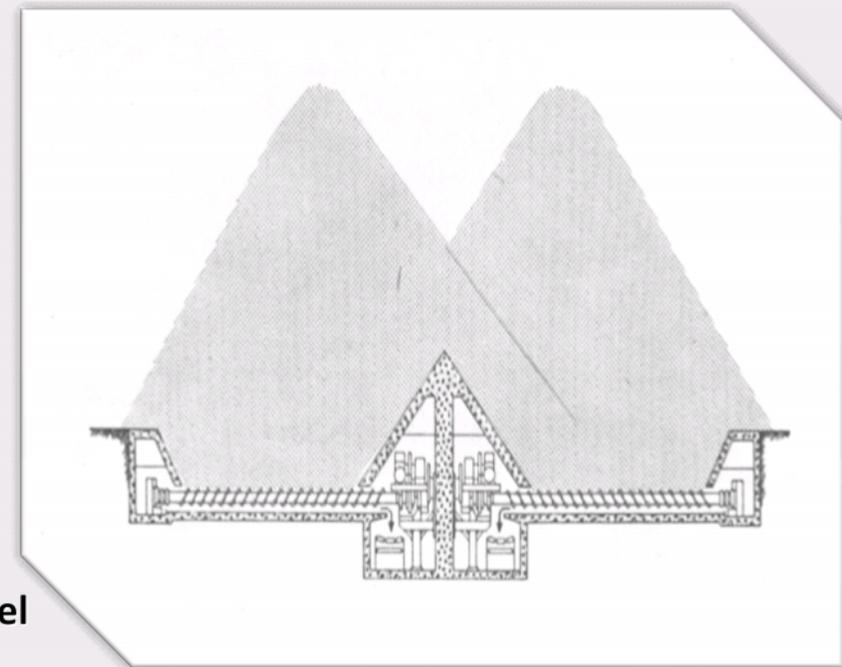
Pilhas de aparas muito altas  
Pilhas muito compactas  
Cuidado com a madeira de folhosas (maior conteúdo de amido).

FIFO (first in first out)

# PREOCUPAÇÕES COM A PILHA DAS APARAS

Algumas considerações:

- Respiração das células de parênquima é responsável pela geração de calor.
- Acima de 45-55 °C, deixa de existir a degradação bacteriana e fúngica.
- Oxidação química assume acima de 55°C. (isso resulta em graves prejuízos durante o cozimento).
- Perda de extractivos é elevada durante o armazenamento.



Exemplo da capacidade instalada da fábrica da Sopercel

ROLARIA

Capacidade de armazenamento; 300 000 st

Para Eucalipto: 1 st = 0.63 m<sup>3</sup>

Para Pinho: 1 st = 0.67 m<sup>3</sup>

Área pavimentada para armazenamento 124 731 m<sup>2</sup>

APARAS

Capacidade de produção de 16 000 m<sup>3</sup>/dia

Capacidade de armazenamento 220 000 m<sup>3</sup>/pilha

# PRODUÇÃO DE PASTAS QUÍMICAS

A produção de pastas químicas baseia-se na acção química de uma solução reactiva com a madeira, que provoca, a par de outros fenómenos, a dissolução da lenhina.

O licor de deslenhificação e as condições de reacção deverão ser as ideais de modo a que a lenhina reaja e possa ser removida das fibras lenhosas com o mínimo de degradação possível e ataque à celulose.

As hemiceluloses, são atacadas e retiradas da pasta em grau variável, consoante o tipo de pasta celulósica que se pretende obter:

- no fabrico de papeis é desejável um alto teor em hemiceluloses
- as pastas para fins químicos não deverão conter hemiceluloses.

Processos mais importantes:

processo sulfito, no qual a lenhina é retirada sob a forma de ácidos lenhosulfónicos por reacção do ião hidrogenosulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ).

processo alcalino, no qual a lenhina é retirada por meio de soda caustica (NaOH)  
Processo soda ou de soda caustica, e Processo kraft ou sulfato - hidróxido de sódio (NaOH) e sulfureto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ).

# TRANSPORTE DO LICOR PARA O INTERIOR DA ESTILHA

Penetração do licor na madeira devido a:

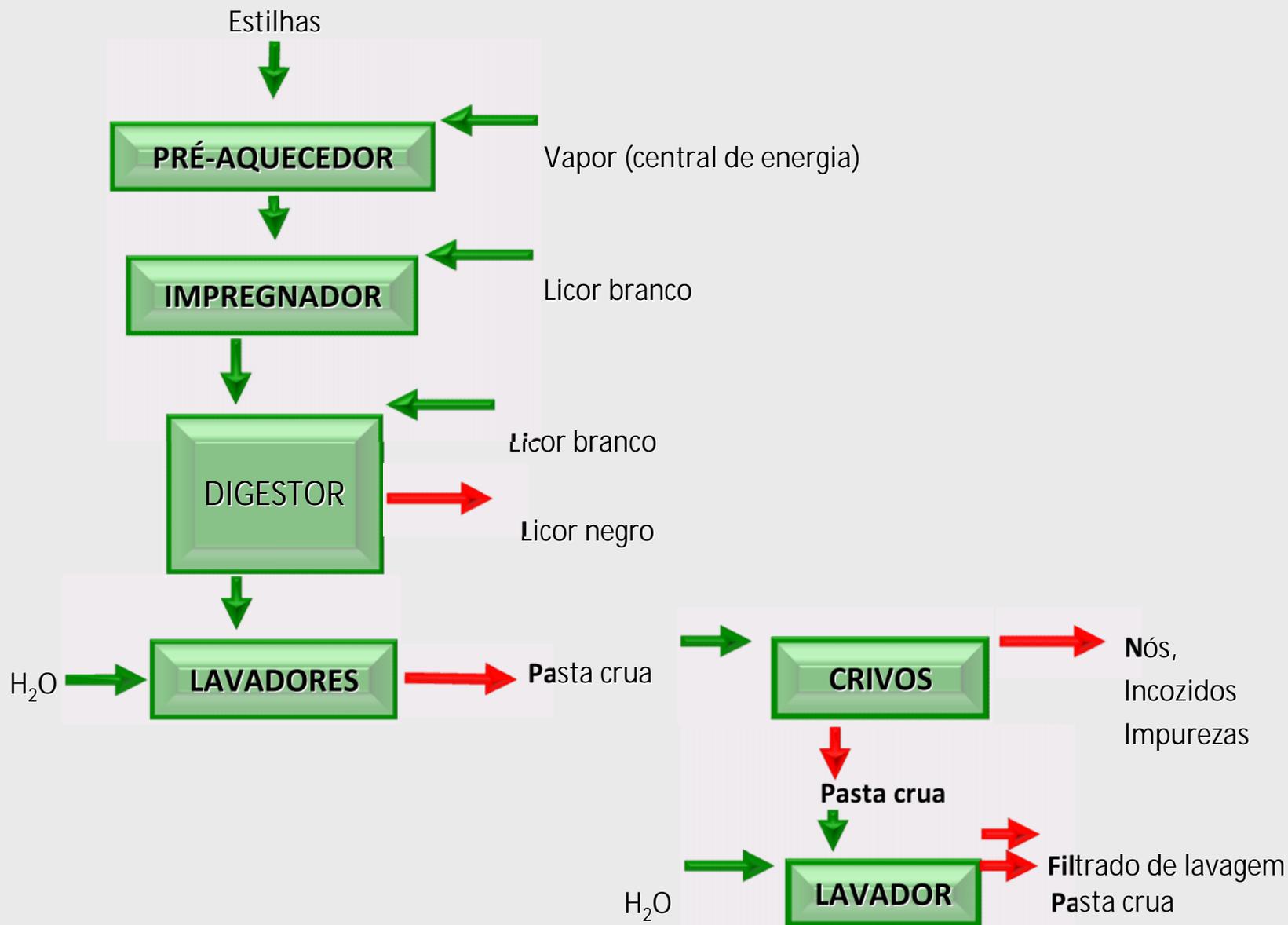
- gradiente de pressão hidrostática
- difusão de íons através da água sob a influência de um gradiente de concentração.

Folhosas: a impregnação ocorre através dos vasos e lúmen das células



Coníferas ou resinosas: a impregnação ocorre através dos lúmens dos traqueídeos

# PRODUÇÃO DE PASTA (Cozimento e lavagem)



# PROCESSO KRAFT

Princípio geral:

Agentes principais

ião hidróxido ( $\text{OH}^-$ )

ião hidrogenossulfureto ( $\text{HS}^-$ )

Tanto o  $\text{NaOH}$  e como o  $\text{Na}_2\text{S}$  em solução aquosa dissociam-se nos iões  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$  e  $\text{S}^{2-}$



O ião  $\text{S}^{2-}$  por sua vez reage com uma molécula de água dando



A lenhina reage não só com o ião  $\text{OH}^-$  mas também com o ião  $\text{HS}^-$ , o qual, devido ao seu carácter fortemente nucleófilo, influencia a reacção de deslenhificação. Assim um aumento da sulfidez do licor favorece a reacção de deslenhificação.

# PROCESSO KRAFT

## Vantagens:

- Grande flexibilidade em relação às espécies de madeira
- Ciclos de cozimento mais curtos que no processo sulfito ácido
- A pasta pode ser branqueada a altos níveis de brancura
- Produção de pastas de alta resistência
- A recuperação do licor é economicamente viável

## Desvantagens:

- Alto custo de investimento na construção de fábricas
- Problemas de odor dos gases
- Baixa brancura da pasta não branqueada quando comparada com as pastas sulfito
- Baixo rendimento em pasta
- Elevado custo de branqueamento

# PROCESSO KRAFT

## Fase inicial

Ocorre no período de aquecimento.

cerca de 20 a 25 % da lenhina é retirada

é caracterizada por processos de difusão e extração dos polímeros de baixo peso molecular

## Fase principal

Ocorre à temperatura de cozimento.

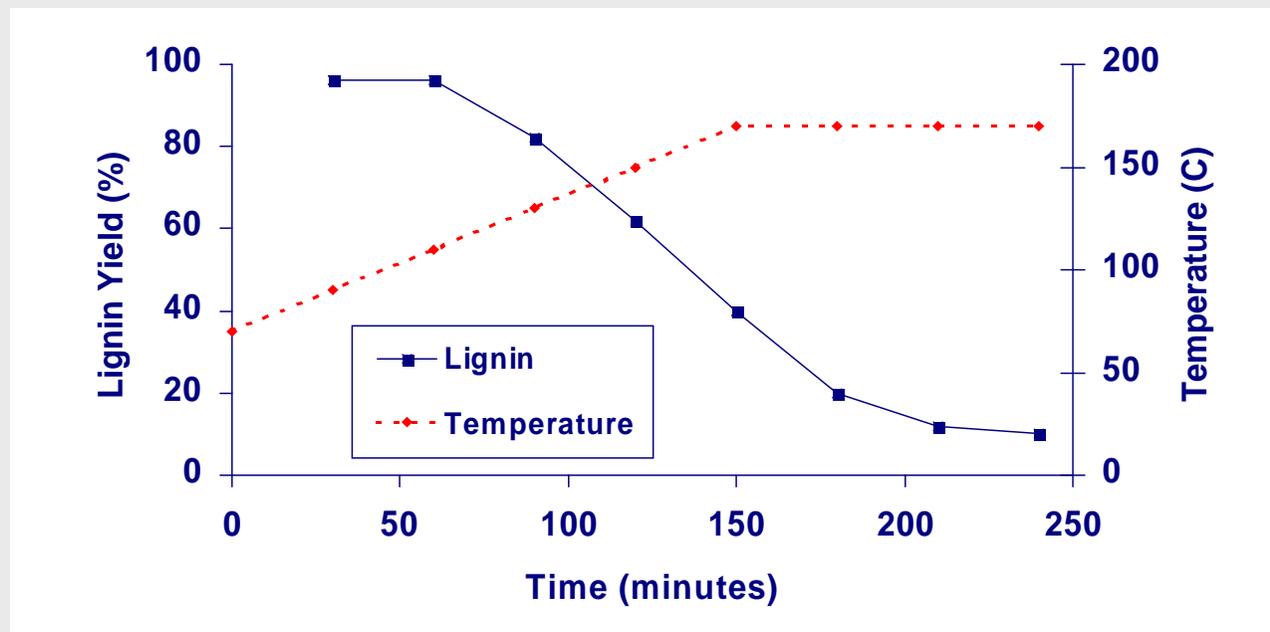
lenhina é degradada e dissolvida

degradação das hemiceluloses

adiminuição do grau de polimerização da celulose.

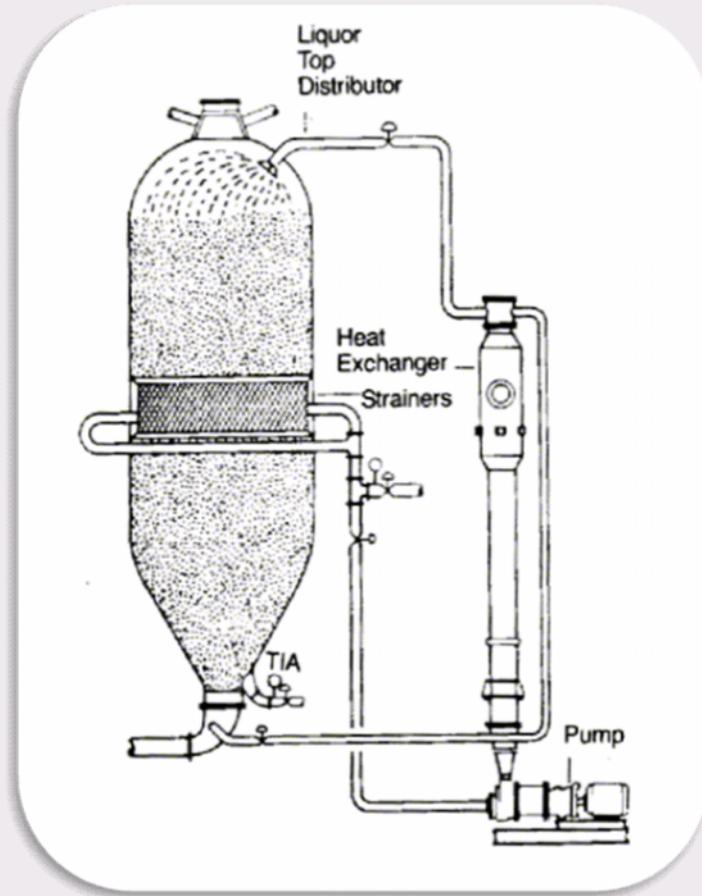
## Fase residual

A remoção da lenhina é lenta.

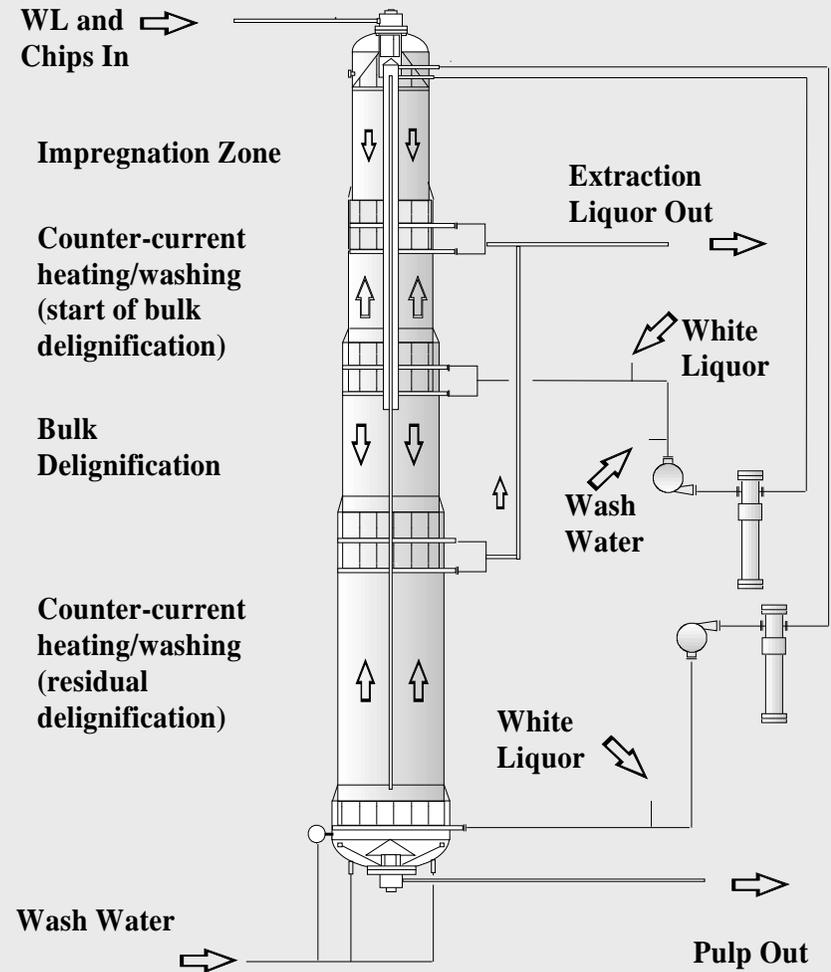


# REACTORES

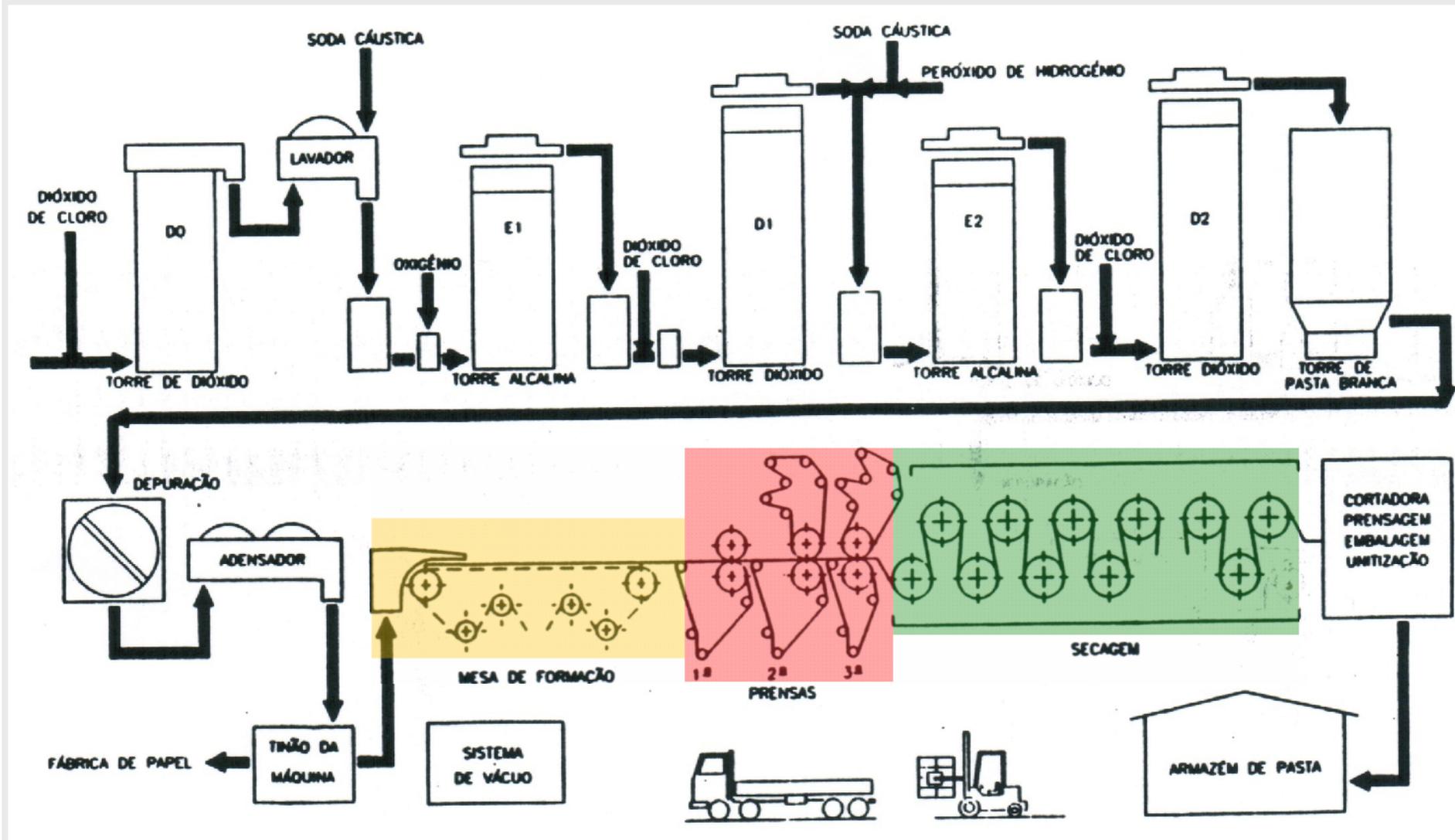
Reactor descontinuo



Reactor continuo: Kamyrdigester



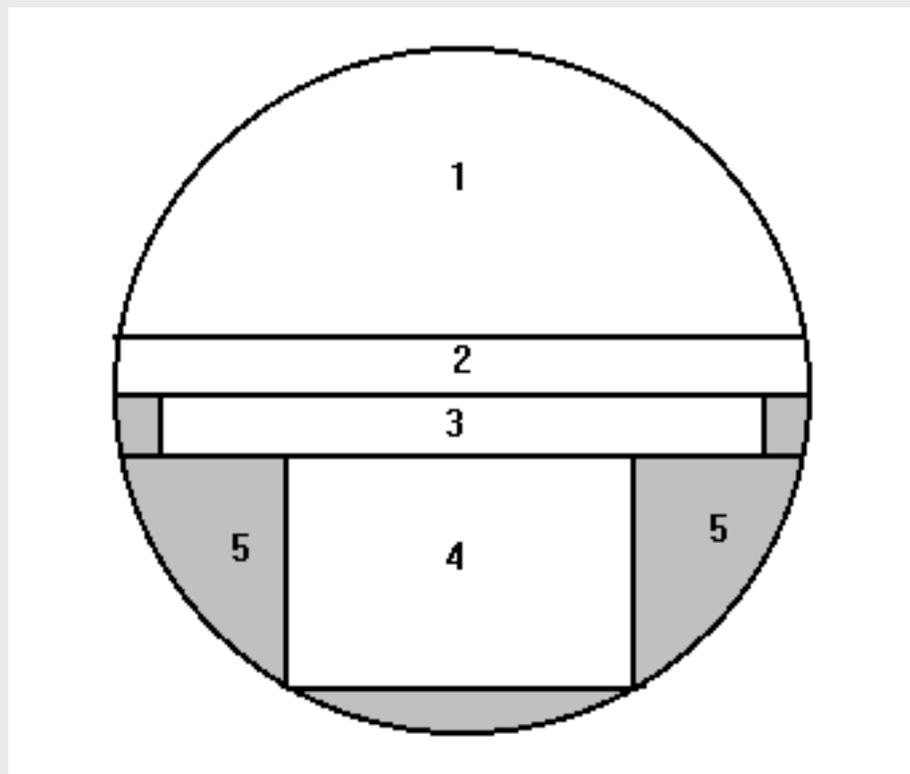
# PROCESSO DE FABRICO



# ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

- **Gramagem do papel (Norma: Tappi 401 om-93)**
- **Espessura do papel**
- **Tracção (Norma: Tappi 404 os-76)**
- **Rebentamento (Norma: Tappi 403 om-91)**
- **Rasgamento (Norma: Tappi 414 ts-65)**

# CORTE DOS PROVETES (Norma TAPPI 220 os-71)



Esquema de corte dos provetes para os ensaios físico-mecânicos do papel.

- 1- ensaio de rebentamento,
- 2- ensaio de tracção,
- 3- ensaio de duplas-dobras,
- 4- ensaio de rasgamento,
- 5- Resíduos para a determinação da humidade.

# ESPESSURA, GRAMAGEM E MÃO DO PAPEL

A determinação da espessura de uma folha de papel faz-se com um micrómetro provido de placas planas e circulares, uma fixa e outra móvel. A placa móvel, com a área de  $2 \text{ cm}^2 \pm 0,04 \text{ cm}^2$  exerce uma pressão de  $1 \text{ kg/cm}^2$  sobre a folha de papel. O resultado exprime-se em micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

A gramagem, definida como a massa de papel por unidade de área, exprime-se em  $\text{g/m}^2$  e é calculada da seguinte maneira:

$$\text{Gramagem } \left( \text{g.m}^{-2} \right) = \frac{\text{peso do papel (g)}}{\text{área } \left( \text{m}^2 \right)}$$

A mão do papel corresponde ao volume ocupado por cada grama de papel ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) e o seu inverso é o peso específico aparente ( $\text{g/cm}^3$ ). Este parâmetro traduz a sensação conjunta de volume, espessura e peso. Por exemplo, entre dois papéis com a mesma massa por  $\text{m}^2$  (gramagem), o mais espesso tem maior mão. O índice de mão calcula-se dividindo a espessura pela gramagem.

# TRACÇÃO E ALONGAMENTO (Norma TAPPI 404 os-76)

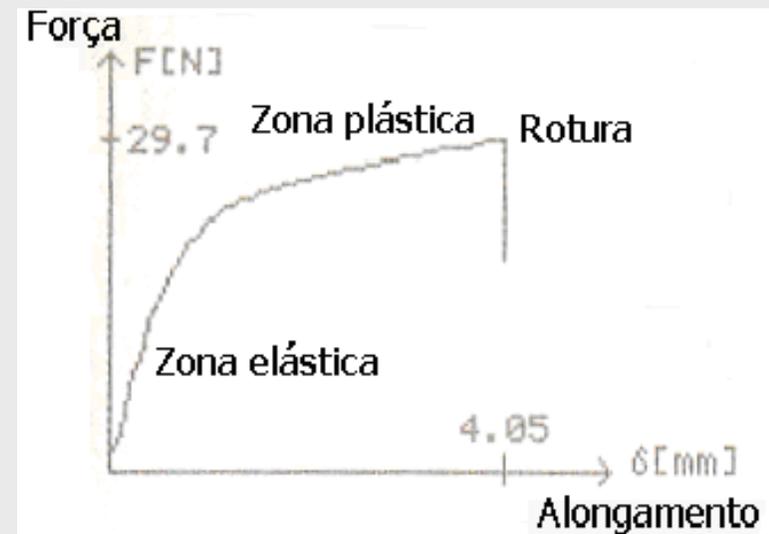
Este ensaio, permite determinar duas propriedades de tensão no papel:

- a força unitária requerida para a rotura do provete
- a percentagem de alongamento antes da rotura.

A resistência à tracção e o alongamento são ensaios estáticos e realizam-se num dinamómetro com uma célula de carga de 1 N.

Uma amostra de ensaio de 15 mm de largura é apertada entre duas garras (uma fixa e outra móvel) à distância de 100 mm e exerce-se uma força de tracção com uma velocidade de extensão constante (15 mm/min.).

A resistência à rotura por tracção depende em grande parte do número e da solidez das ligações entre as fibras e, até certo ponto, do comprimento das fibras. O índice de tracção é hoje o parâmetro mais usado.



$$\text{Índice de Tracção} \left( \text{N.m.g}^{-1} \right) = \frac{\text{Carga de rotura} \left( \text{N.m}^{-1} \right)}{\text{Gramagem} \left( \text{g.m}^{-2} \right)}$$

# TRACÇÃO E ALONGAMENTO (Norma TAPPI 404 os-76)

O alongamento é o aumento de comprimento em valor absoluto que uma tira papel sofre quando está sujeita a uma força de tracção correspondente à carga de rotura. O alongamento exprime-se em percentagem (%) do comprimento inicial.

$$\text{Alongamento (\%)} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

A possibilidade de alongamento é uma qualidade importante sempre que o papel é sujeito a esforços de tracção irregulares ou bruscos. Uma folha de papel é composta por fibras que não são rígidas nem rectas, tendo portanto um certo grau de liberdade. Sob o efeito da tracção, tendem a endireitar-se e a alinhar no sentido do esforço e funcionam como molas. Depois, as ligações mais fracas rompem-se e as fibras deslocam-se até ao momento em que se dá a rotura total da tira. Com comprimentos de rotura ou índices de tracção iguais, um papel é tanto mais sólido quanto maior for o seu alongamento.

# ÍNDICE DE REBENTAMENTO (Norma: Tappi 403 om-91)

A medição da resistência ao rebentamento destina-se a simular as deteriorações frequentes nos papeis de embalagens (ex.: o rebentamento de um saco). O ensaio é realizado num aparelho MULLEN com características normalizadas de área de ensaio, aperto, velocidade, etc.

$$\text{Índice de Rebentamento (kPa.m}^{-2}\text{g}^{-1}) = \frac{\text{Força de rebentamento (kPa)}}{\text{Gramagem (gm}^{-2}\text{)}}$$

Ao contrario do ensaio de tracção, onde a força aplicada é unidireccional, neste ensaio a força é multi-direccional. Este índice varia com a refinação, do comprimento das fibras e da maneira como a folha é formada.

# ÍNDICE DE RASGAMENTO (Norma: Tappi 414 ts-65)

O ensaio de rasgamento mede a energia absorvida para provocar o rasgamento numa amostra ao longo de um determinado comprimento. É um ensaio dinâmico e é muito importante pois caracteriza a resistência do papel quando sujeito a diversos esforços, desde a fase de fabricação, como nas fases de transformação (impressão, impregnação, etc.), mas também aquando da utilização final (em sacos, caixas, etc).

O ensaio realiza-se um aparelho de pêndulo, designado pêndulo de ELMENDORF.

$$\text{Índice de Rasgamento } \left( \text{N.m}^{-2}\text{g}^{-1} \right) = \frac{\text{Força de rasgamento (N)}}{\text{Gramagem } (\text{g.m}^{-2})}$$

A resistência ao rasgamento depende do comprimento das fibras, do seu entrelaçamento, da sua maleabilidade e da sua relativa liberdade na estrutura do papel, assim como do número de ligações interfibrilares.

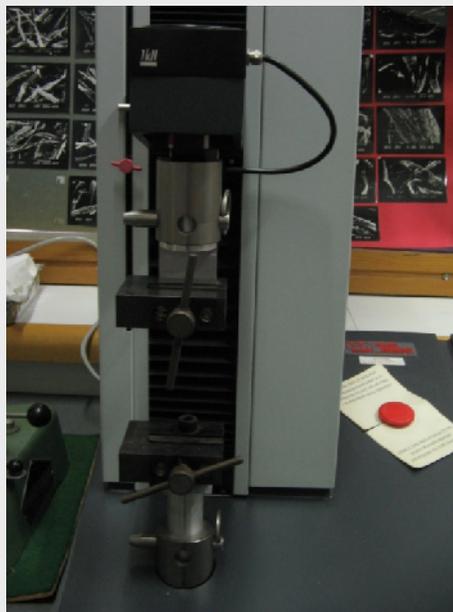
# EQUIPAMENTOS PARA OS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS



Micrómetro



Aparelho MULLEN



Dinamómetro

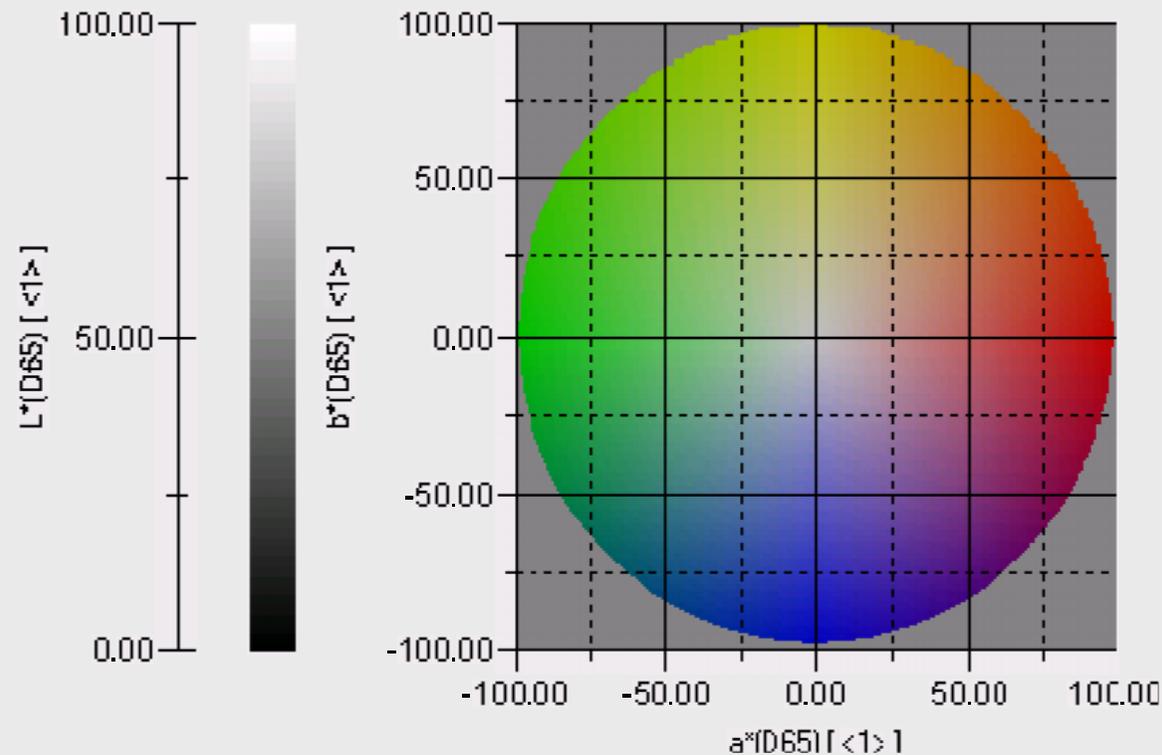


Aparelho de duplas-dobras

# ESCALA DE COR (CIE L\*a\*b\*)

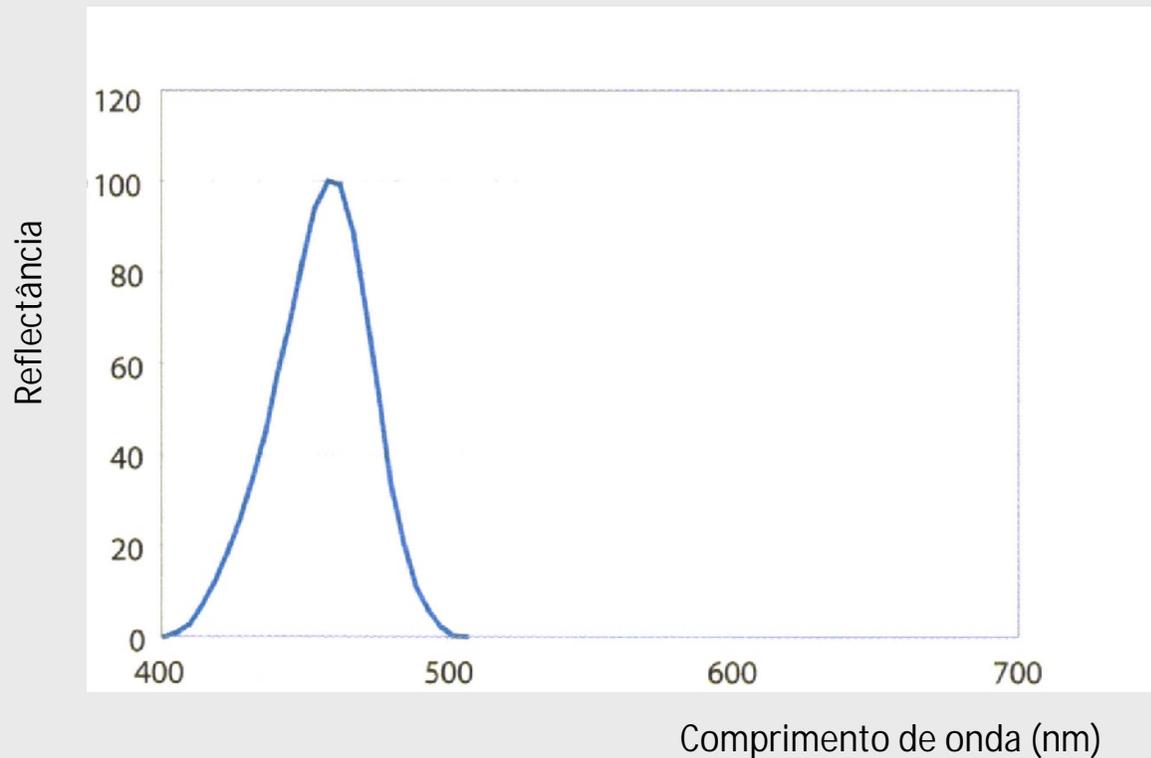
Os parâmetros L\*a\*b\* significam:

- L\*, a luminosidade do papel, que varia entre 0 (negro) e 100 (branco)
- a\* representa a variação de cor entre o verde (valores de a\* negativos) e o vermelho (valores de a\* positivos)
- b\* representa a variação de cor entre o azul (valores de b\* negativos) e o amarelo (valores de b\* positivos)



# GRAU DE BRANCURA (Norma Tappi 452 om-92)

A brancura da pasta para papel é baseada na reflectância medida no comprimento de onda de 457 nm. A brancura não é uma medida colorimétrica, mas está associada ao amarelecimento da pasta, sendo uma medida da presença de lenhina residual da pasta. Quanto maior for a quantidade de lenhina, menor será o Grau de Brancura.



# BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BIERMANN C. J. 1996. Handbook of pulping and papermaking. Academic press. New York. 753 pp.

Clark, J. 1978. Pulp Technology and Treatment for Paper. Miller Freeman Publications. San Francisco. 752pp.

Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley & Sons. New York. 550 pp.

FAHN. A. 1975. Plant anatomy (2<sup>nd</sup> ed.) Pergamon Press. New York. 611 pp.

FENGEL, D., WEGENER, G. 1989. Wood – Chemistry, Ultrastucture, Reaction. Walter de Gruyter. New York. 602 pp.

RAVEN, P. H., EVERT R., CURTIS H. 1999. Biology of plants (6<sup>th</sup> ed.) W. H. Freeman/Worth Publishers. New York. 944 pp.

SJÖSTRÖM E. 1981. Wood chemistry – Fundamentals and applications. Academic press. New York. 223 pp.