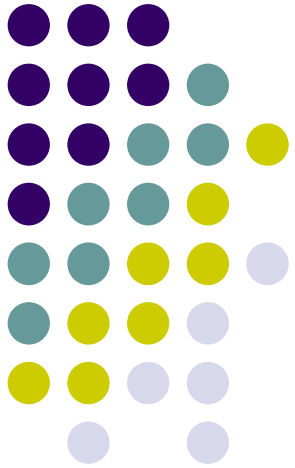
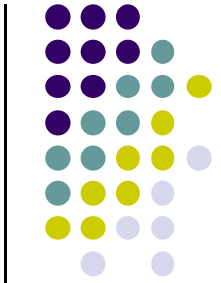
TECNOLOGIA DA MADEIRA

Sua formação, estrutura, e composição química



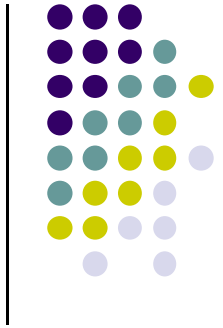
Introdução



A Madeira

- É a dimensão material do tecido lenhoso das árvores.
- É um material orgânico de natureza vegetal, organizado em tecidos, de forma a desempenharem as funções vitais da árvore (transporte, suporte, armazenamento, actividade metabólica).
- É um material celular, cujas células possuem uma parede de natureza celulósica, cimentadas entre si por lenhina.
- Apresenta uma estrutura anatómica que varia em função das duas classes de árvores madeireiras – Resinosas (coníferas) e Folhosas (Dicotiledóneas)

Introdução



A Madeira como material

- Importante recurso natural por ser renovável e agente fixador de carbono (redução CO2 atmosfera).
- Tem utilizações diversas (móveis, carpintaria, derivados, estruturas, papel, biomassa)
- Aplicada indiscriminadamente baseada em conhecimentos empíricos sem objectivos de racionalização.

Razões que motivam:

- Conhecimento técnico-científico do material em termos de formação, estrutura, propriedades e comportamentos

A formação da Madeira

A madeira provêm de plantas lenhosas (produzem lenho)

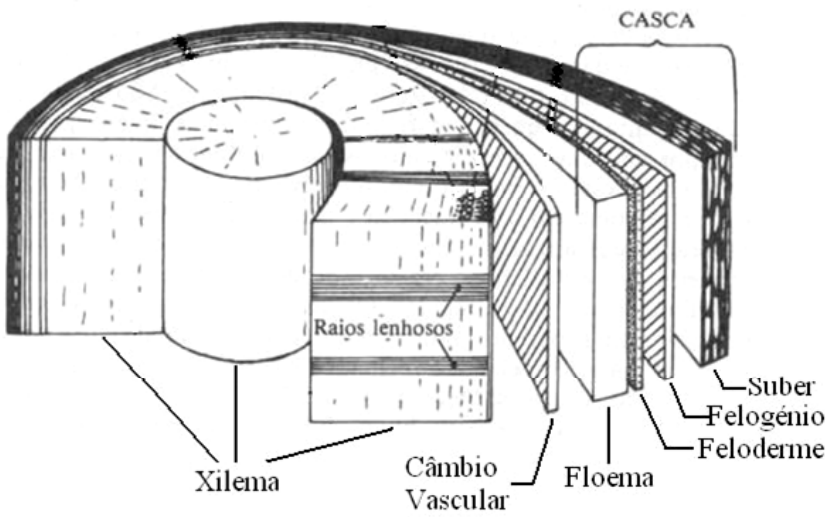
- Apenas as que têm tecidos secundários (meristemas e câmbios)
- Dimensão (altura) acima de 5 metros
- Eixo principal individualizado e sem ramificações (fuste)
- Resinosas (família das Coníferas) - *SoftWoods*
- Folhosas (família da Dicotiledóneas) - *Hardwoods*

Tipos da meristemas: - apical (crescimento em altura)
- perimetral (engrossamento**)**

A formação da Madeira

Há dois tipos de tecidos meristemáticos secundários

- **Câmbio libero-lenhoso (ou vascular)** que diferencia lenho ou xilema para dentro e líber ou floema para fora
- **Câmbio suberoso (ou felogenio)**, que diferencia para dentro feloderme (casca viva) e para fora o suber (casca morta).

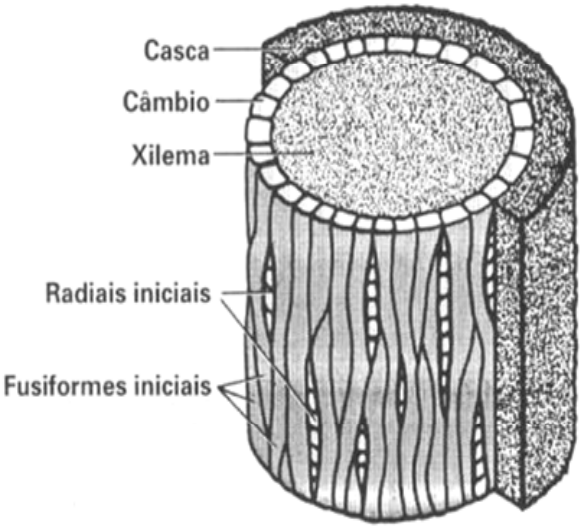


A madeira é formada a partir da divisão das células do câmbio vascular

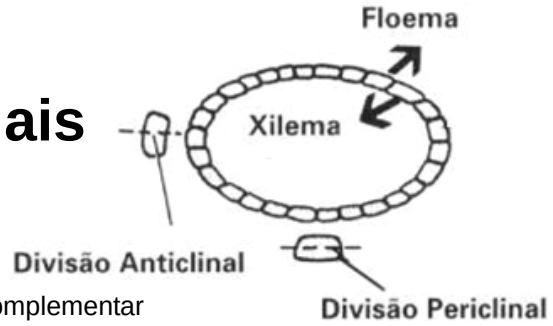
A formação da Madeira

O câmbio vascular tem dois tipos principais de células meristemáticas:

- As **fusiformes iniciais,** mais esbeltas, que se dividem para formar novas iniciais cambiais e novas células de xilema e de floema.
- As **radiais iniciais**, mais curtas e arredondadas, que se diferenciam para originar novas células radiais de xilema e de floema .



Divisão das células cambiais



A formação da Madeira

Divisão periclinal de fusiformes iniciais

a) Célula fusiforme inicial no começo da divisão

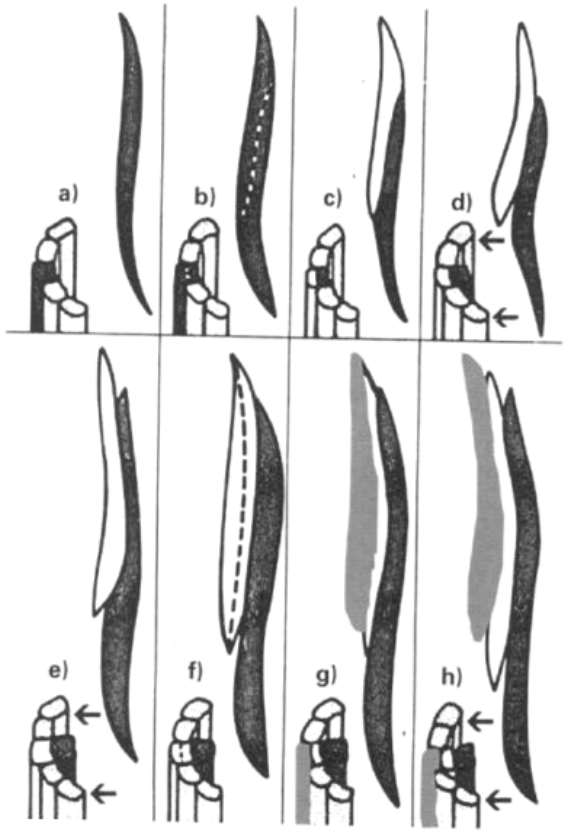
b) Diferenciação cromossomática

c) Completa individualização celular

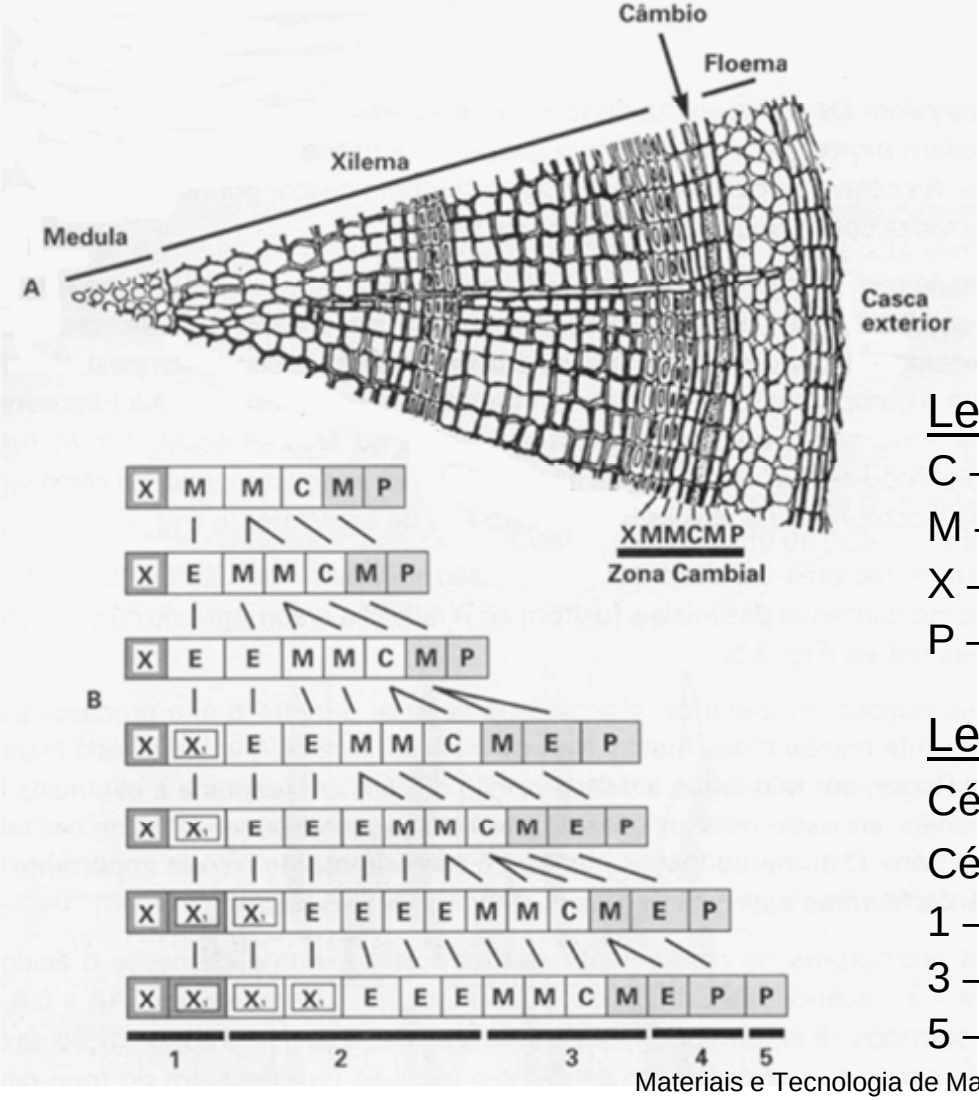
d) e e) Aumento de tamanho das novas células

f) Integração das células como elementos dos respectivos tecidos: xilema (a do interior) e câmbio (a do exterior)

g) e h) Inicio de novo ciclo



A formação da Madeira



Esquema da actividade Cambial

A – Sector circular da secção de tronco
B – Esquema de formação celular

Legenda de A:

C – células iniciais do câmbio
M – células mãe do Xilema e Floema
X – células do Xilema
P – células do Floema

Legenda de B:

Células á direita de C: elementos FLOEMA
Células á esquerda de C : elementos XILEMA
1 – Xilema adulto; 2 – Xilema em formação
3 – Zona Cambial; 4 – Floema em formação
5 – Floema adulto

A formação da Madeira

Em termos práticos a madeira é a parte do lenho correspondente ao Xilema.

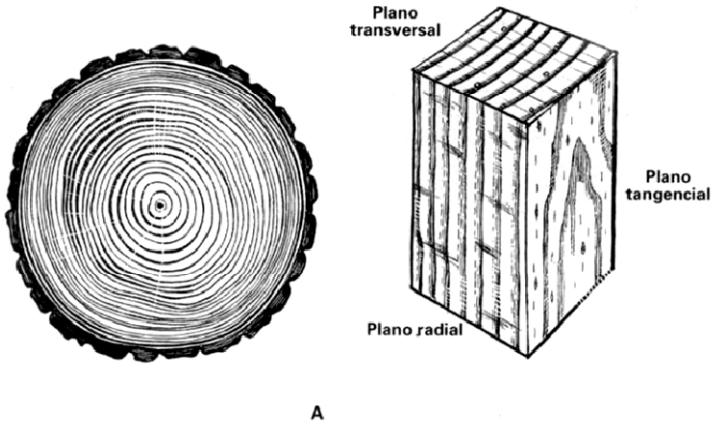
A sua caracterização faz-se em 3 planos:

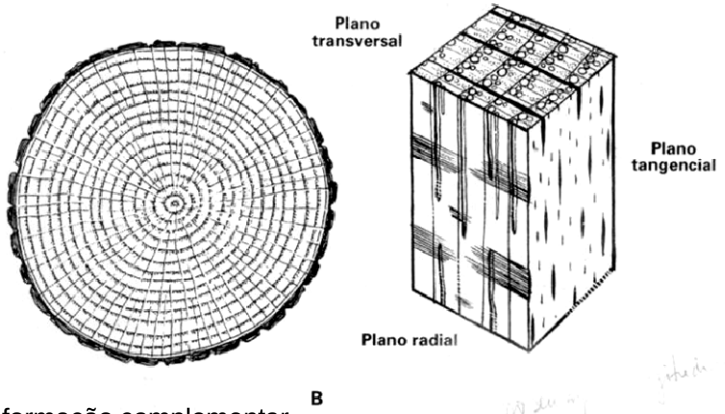
Plano transversal, perpendicular ao eixo axial da árvore

Plano radial, paralelo ao eixo axial, passando pela medula

Plano tangencial, paralelo ao eixo axial e tangente aos anéis de crescimento

Aquele que nos dá mais informação tanto em termos macroscópicos como microscópicos é o Plano transversal





A formação da Madeira

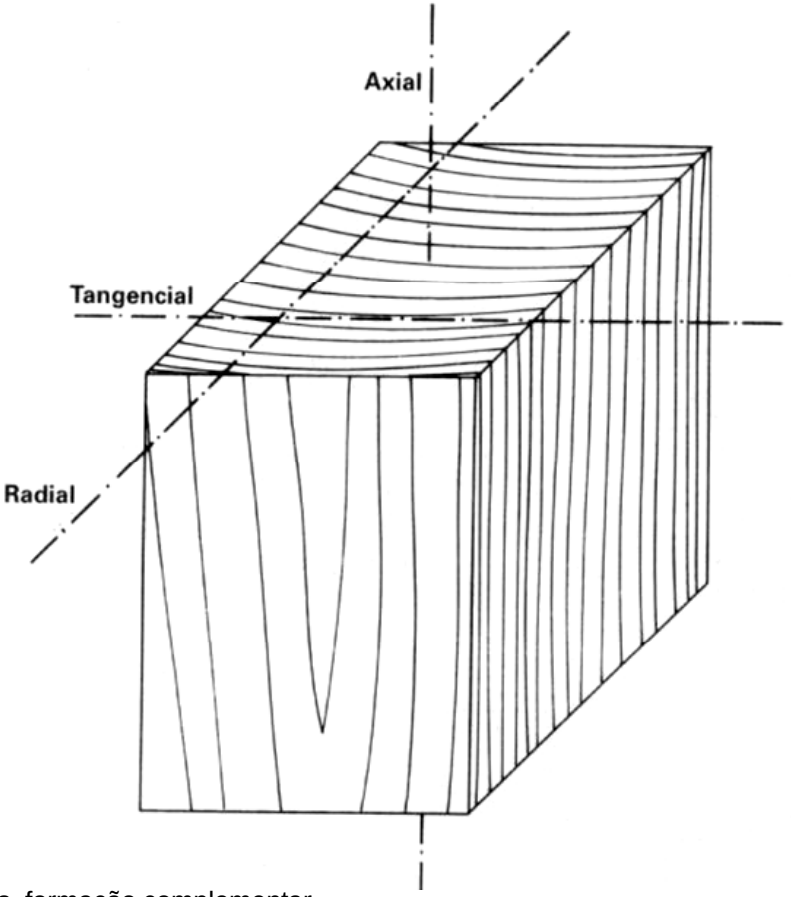
Aos planos de referência são perpendiculares, respectivamente 3 eixos principais:

Eixo axial, perpendicular ao plano transversal (coincidente com o eixo da árvore)

Eixo tangencial, perpendicular ao plano radial, e tangente aos anéis de crescimento

Eixo radial, perpendicular ao plano tangencial e coincidente com a direcção dos raios.

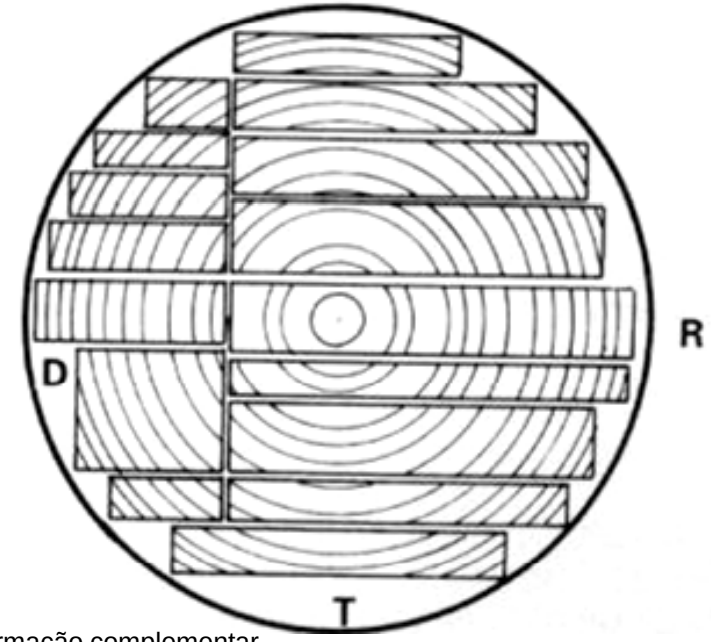
As propriedades da madeira variam em função da direcção considerada - **anisotropia**



A formação da Madeira

As peças (réguas/tábuas/pranchas/barrotes) obtidas a partir do desdobramento do toro, apresentam por isso nomes específicos e comportamentos distintos

R – peças radiais
T – peças tangenciais
D – peças diagonais



A formação da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

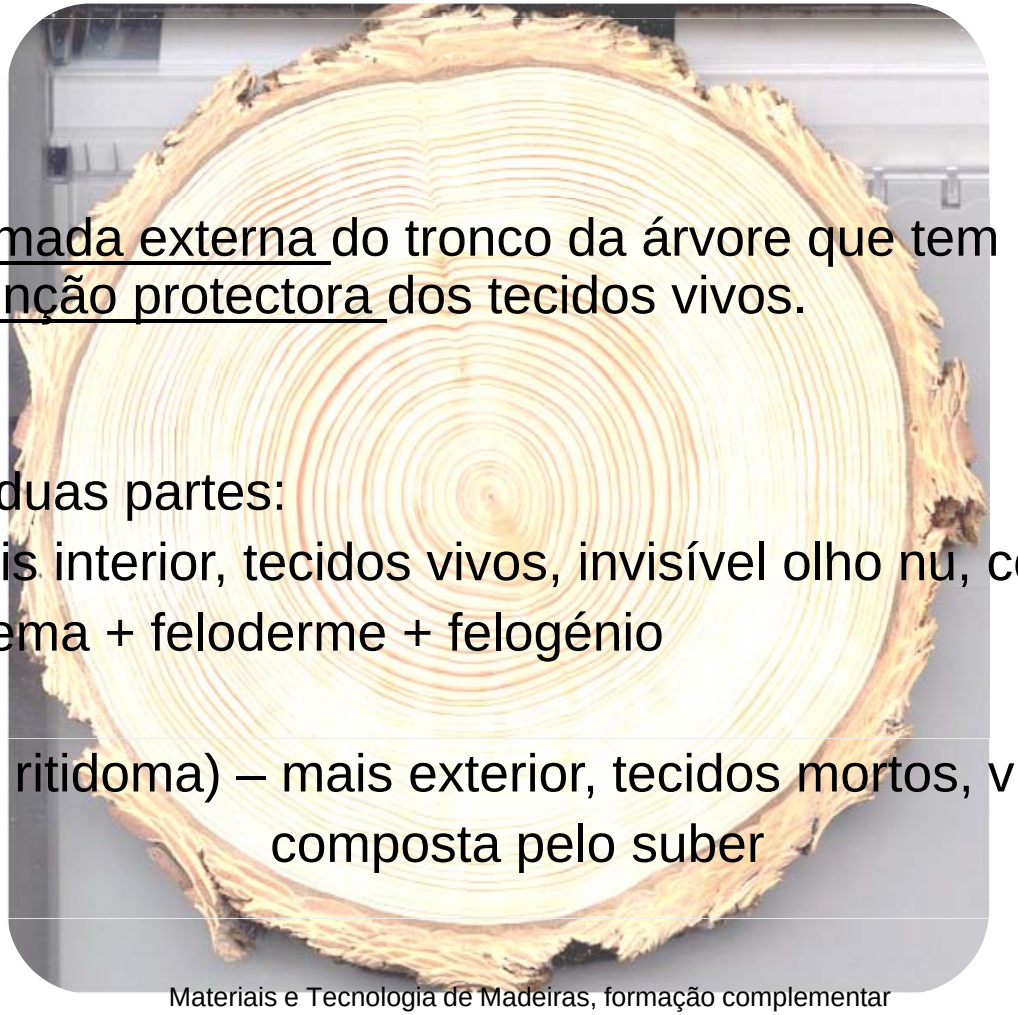
Quando observamos a extremidade de um toro serrado, podemos distinguir na maioria das madeiras, três zonas distintas: a casca, a seguir uma zona mais clara e uma parte central, mais escura.

À parte mais clara chama-se **borne** ou alburno, enquanto que à parte mais escura se chama **cerne** ou duramen

A formação da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

A casca



É a camada externa do tronco da árvore que tem uma função protectora dos tecidos vivos.

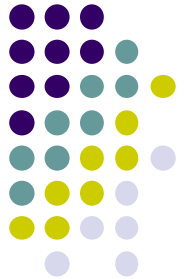
É composta por duas partes:

Casca viva – mais interior, tecidos vivos, invisível olho nu, composta por floema + feloderme + felogénio

Casca morta (ou ritidoma) – mais exterior, tecidos mortos, visível olho nu composta pelo suber

A formação da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais



Madeira de **Borne**

Corresponde à parte mais recente do xilema, cujas células desempenham diversas actividades:

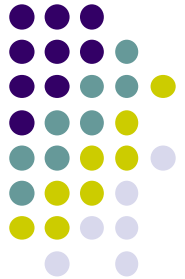
- transportam a seiva bruta até ás folhas
- armazenam alimentos (açucares, amido e materiais nitrogenosos)
- suporte

Principais características do **Borne**

- baixa resistência mecânica
- menor durabilidade (fraca resistência natural a ataque de fungos e insectos)
- facilmente impregnável
- menor densidade

A formação da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais



Madeira de **Cerne**

Corresponde à parte mais antiga do xilema, cujas células não apresentam nenhuma actividade vegetativa. Desempenham apenas uma função mecânica estrutural de suporte.

Principais características do **Cerne** :

- elevada resistência mecânica
- maior durabilidade natural
- dificilmente impregnável
- maior densidade

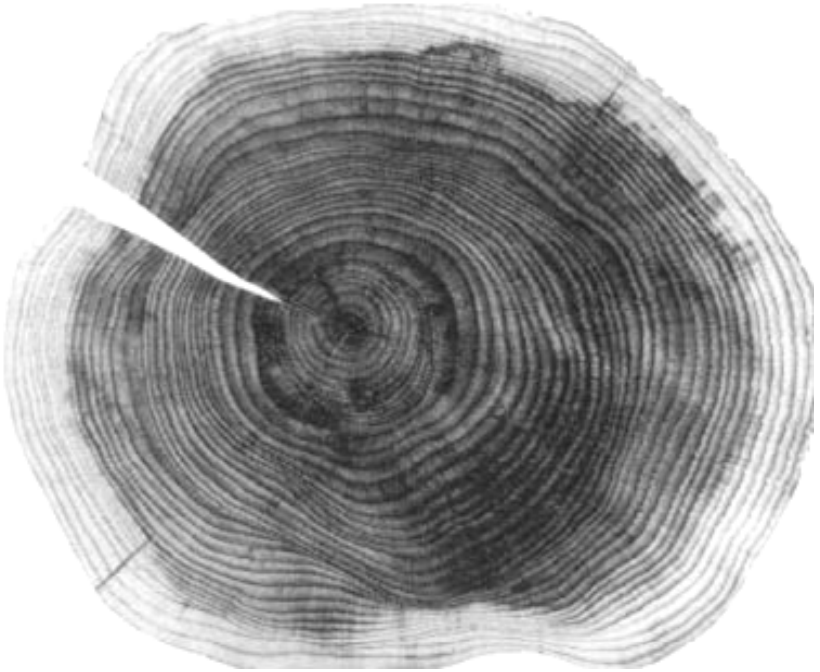
À medida que são produzidas novas células pelo câmbio, a parte mais interna do **borne** é convertida em **cerne** através da impregnação das paredes celulares com substâncias orgânicas (taninos, resinas,…)

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Anéis de crescimento **anual**

Anéis mais ou menos concêntricos que correspondem ás camadas de crescimento anual



Permitem determinar idade árvore (Dendrocronologia)

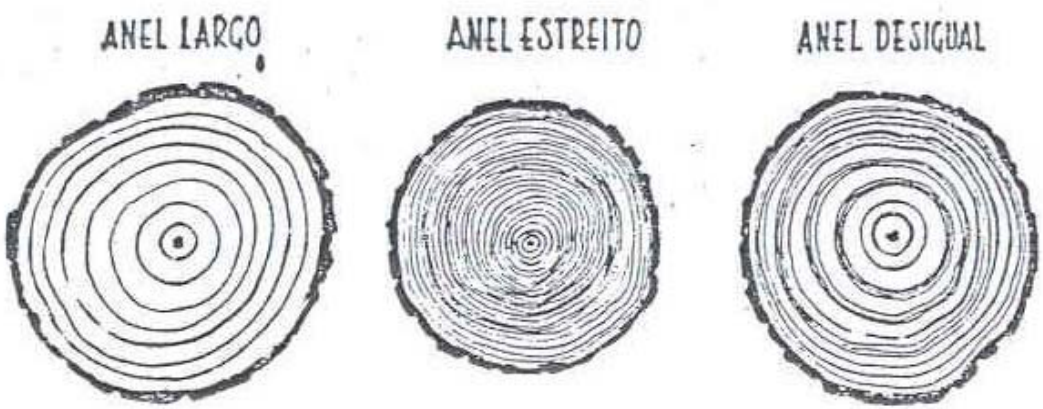
Composição do anel:
Madeira clara – lenho inicial (LI)
Madeira escura – lenho final (LF)

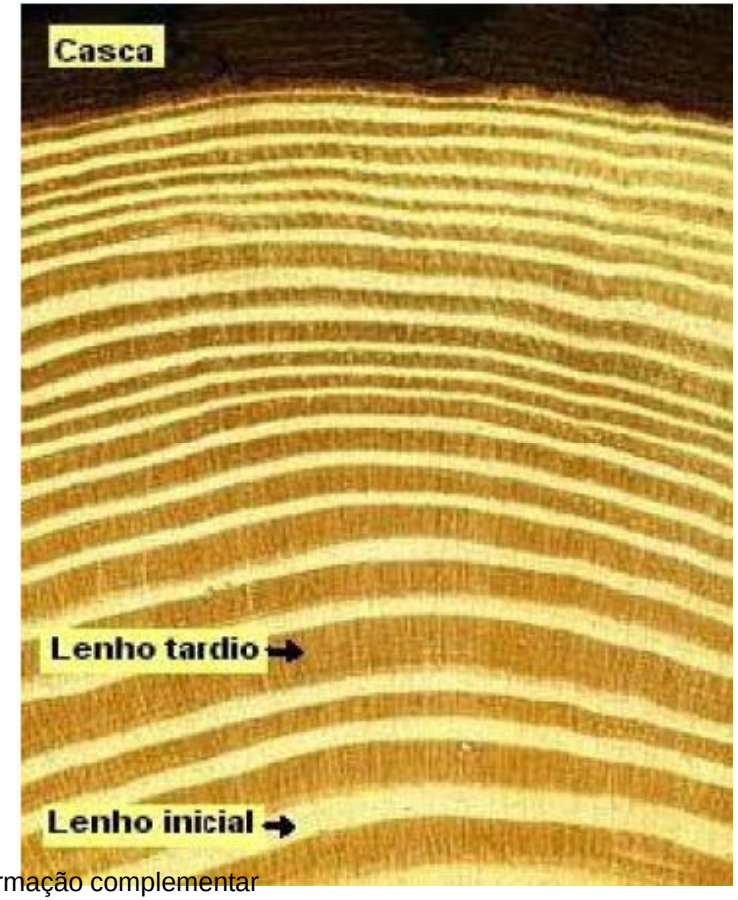
Maiores diferenças climáticas => maior evidência anéis
Climas temperados => ritmos crescimento variáveis => heterogeneidade

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Anéis de crescimento **anual** - classificação





Causas da proporção relativa de LI e de LF:

- Características da estação
- Variações climáticas
- Factores genéticos
- Concorrência alimentar e pela luz

A estrutura da Madeira

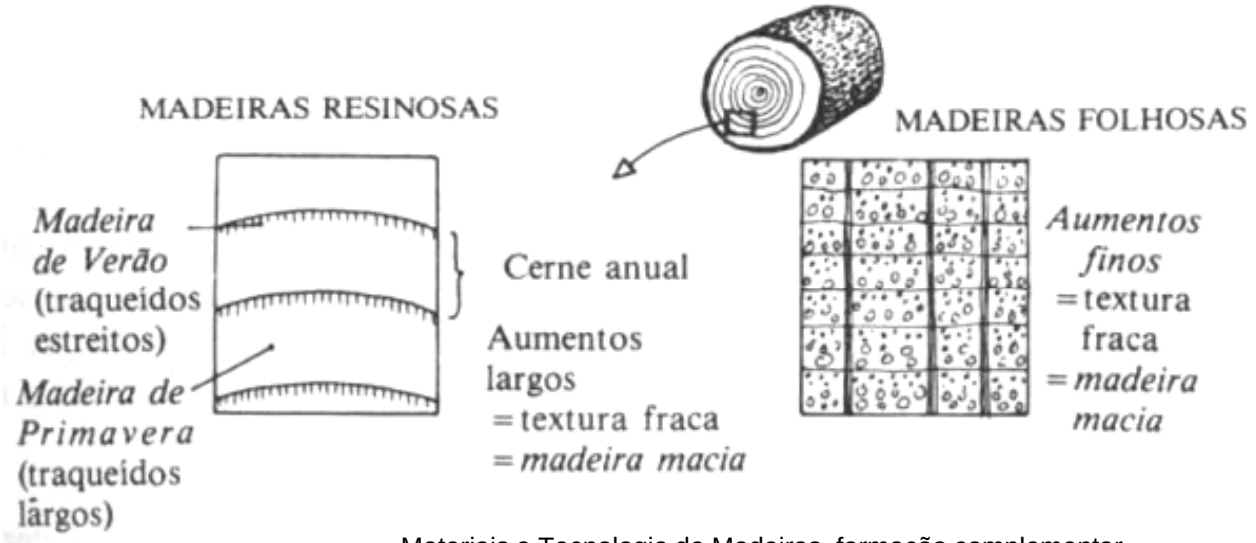
Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Lenho inicial

Banda <u>mais clara</u> dentro do anel

Formado em Primavera/Verão

<u>Composição</u>:
Células maiores
Largura maior no anel
Madeira macia



A estrutura da Madeira

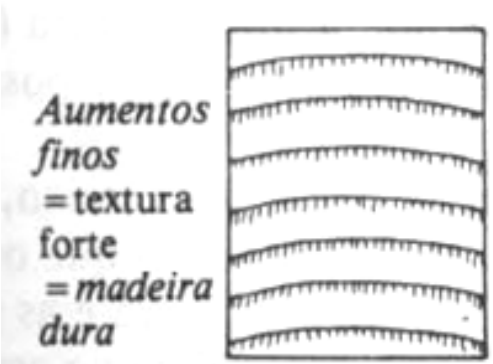
Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

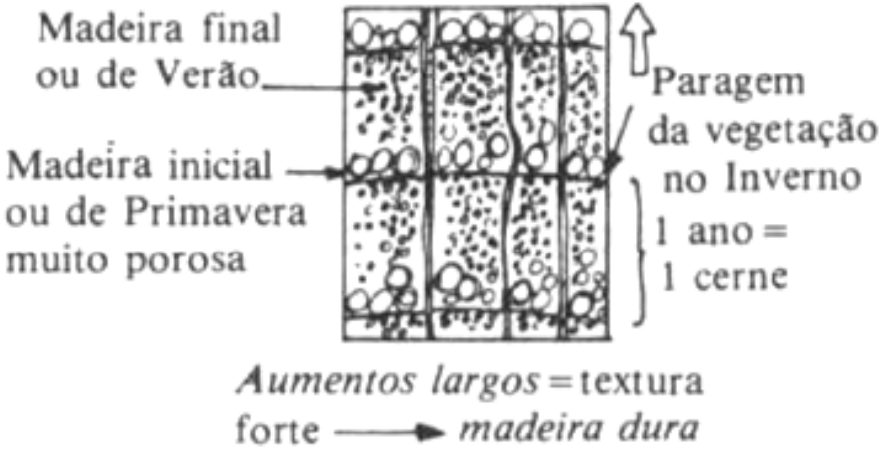
Lenho final

Banda <u>mais escura</u> dentro do anel

Formado em Verão/Outono

<u>Composição</u>:
Células menores
Largura menor no anel
Madeira dura





A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

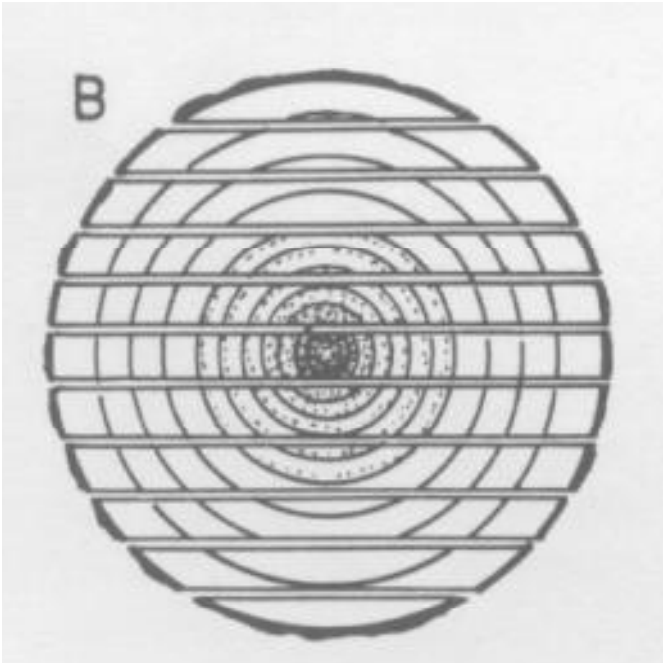
Lenho juvenil e lenho adulto

Dentro da madeira de cerne e associado á medula encontra-se o **lenho juvenil** – conjunto de anéis anuais dos primeiros 5-20 anos de vida

Na prática também designado por coração da madeira. Crescimento em altura mais forte (meristemas primários)

O **lenho adulto** corresponde aos restantes anéis do cerne + todo o borne

Crescimento em largura mais forte. Maior robustez estrutural.



A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Lenho de reacção

Quando a madeira é formada sob condições excepcionais de esforço mecânico (p.e. por acção mecânica do vento, neve, declive, competição pela luz, etc.).

Excentricidade medular (resinosas).

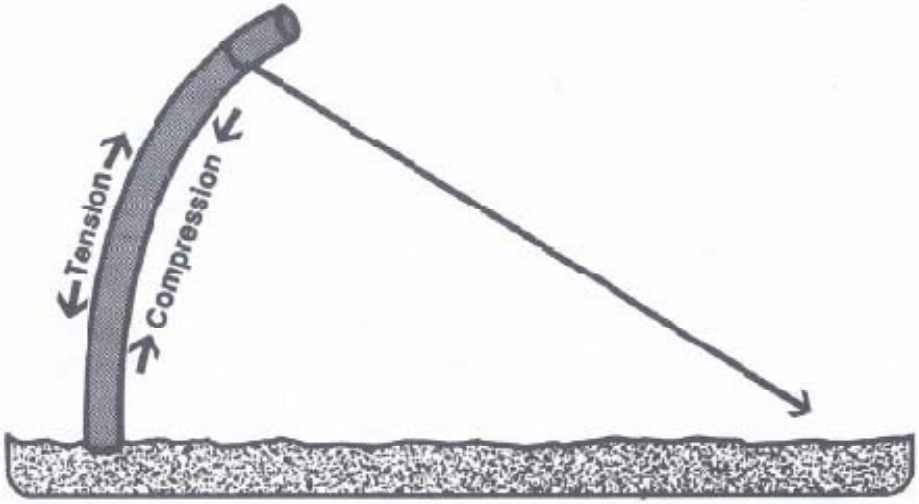
Madeira com propriedades diferentes

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Lenho de reacção

O crescimento radial acelerado origina diferentes tipos de lenho de um lado e de outro da medula: tracção (folhosas) e compressão (resinosas)



A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Lenho de reacção - compressão

Ocorre nas resinosas

Anéis crescimento mais largos

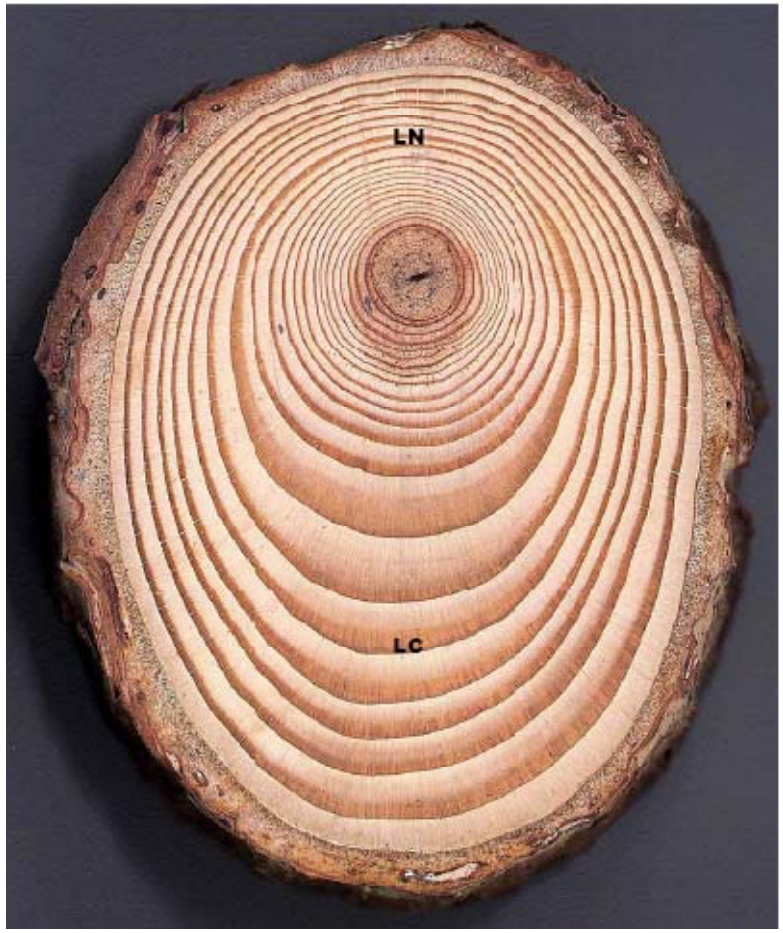
Maior percentagem LF

Transição LI – LF mais suave

Densidade 15-40% > que LN

Comprimento células 10-15% < que LN

Lenhina 30-40% > que LN



A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Lenho de reacção - tracção

Ocorre nas folhosas

Anéis crescimento mais largos

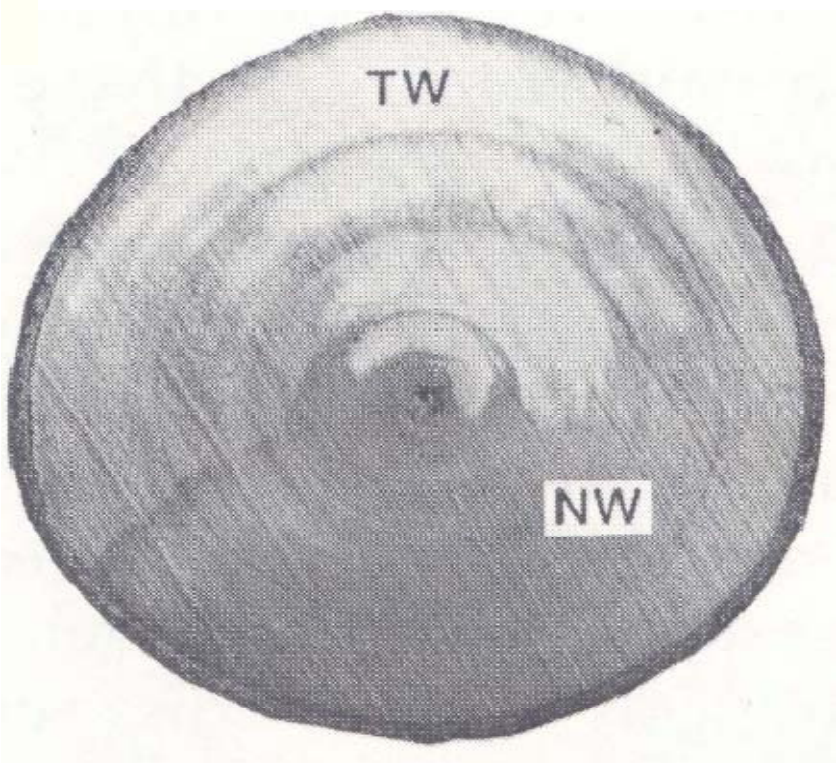
Não forma anéis excêntricos

Cor esbranquiçada da TW

Densidade 15-30% > que NW

Vasos com < diâmetro que NW

Menos lenhina + celulose que NW



A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Medula

Tecido com aspecto esponjoso

Zona central, mais ou menos escura

Agregado de células de parênquima

Remanescente da estrutura primária inicial da planta

Origina defeitos nas peças serradas

Fraca durabilidade

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

Ainda no plano transversal, aprecia-se a textura e o grão da madeira

A **textura da madeira**: intensidade transição LI – LF
% LF no anel

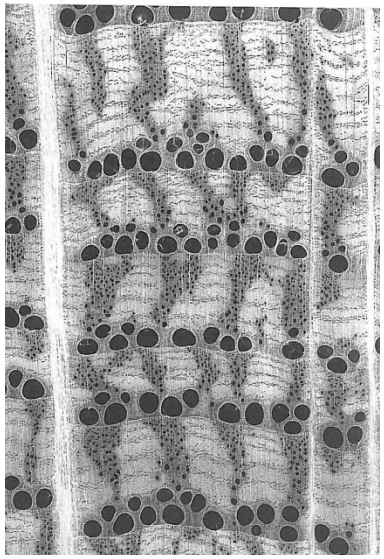
O **grão da madeira**: diâmetro (calibre) das células
% das células no anel

A estrutura da Madeira

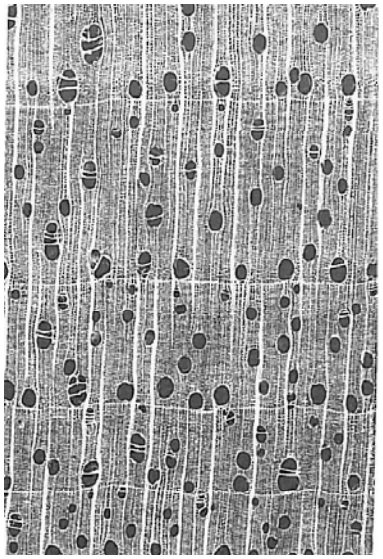
Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

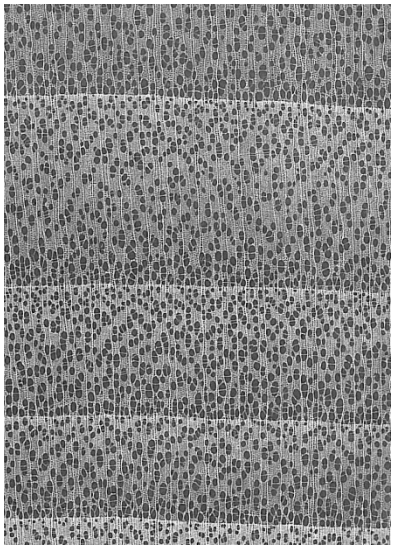
Textura da madeira e grão da madeira



Textura forte e desigual
Estrutura heterogénea
Grão grosseiro e desigual



Textura suave mas distinta
Estrutura homogénea
Grão grosseiro e semi-desigual



Textura muito suave mas distinta
Estrutura mediana/ homogénea
Grão fino e uniforme

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

Nos plano radial e tangencial, aprecia-se o veio e o fio da madeira

O fio **da madeira**: -aspecto decorativo da face radial das peças
-resulta da intersecção dos anéis com o plano radial
-alinhamento relativo com eixo axial

O **veio da madeira**: -aspecto decorativo da face tangencial peças
-mais marcante nas folhosas que nas resinosas
-resulta da intersecção dos anéis com o plano tangencial

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

Classificação dos vários aspectos de fio da madeira nas peças aparelhadas (face radial):

a. Fio recto ou fio direito

b. Fio espiralado ou fio **torcido**

c. Fio entrecruzado, contrafio ou **revesso**

d. Fio **ondulado** ou ondeado

e. Fio encaracolado

f. Fio **irregular** da madeira

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

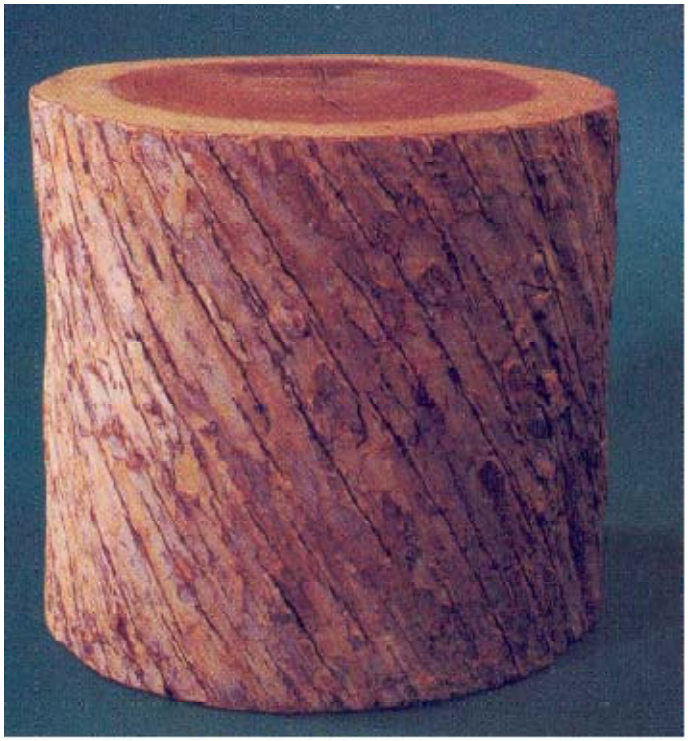
Veio, fio, textura, grão

a. Fio recto ou fio direito

Caracterizado por acentuado paralelismo entre o eixo dos elementos fibrosos e o eixo do tronco

b. Fio espiralado ou fio torcido

Caracterizado por pronunciada disposição helicoidal do eixo dos elementos fibrosos relativamente ao eixo do tronco (madeira mais pesada, compacta e pouco elástica.



Carpinus sp,
fio torcido

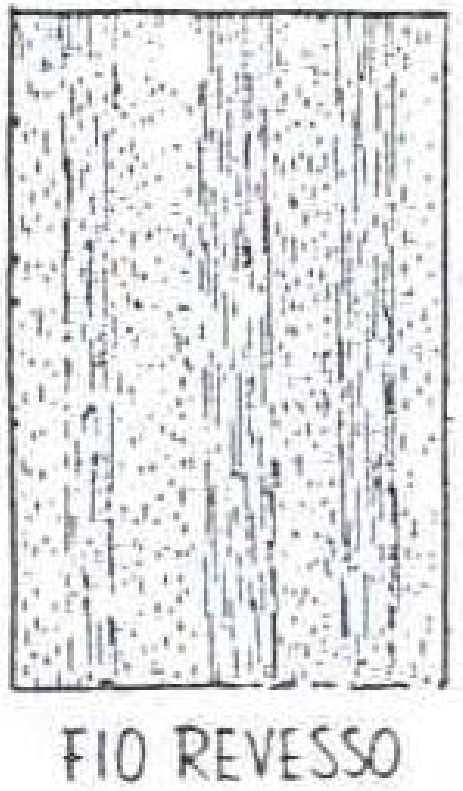
A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

c. Fio entrecruzado*, contrafio ou revesso

A conjugação alternada e mais ou menos sistemática de fio espiralado em sucessivas camadas de crescimento ou grupos de camadas de crescimento, conduz a brusca mudança da inclinação do fio.



* Valorizada pelos seus efeitos decorativos, por vezes procurada para folheados

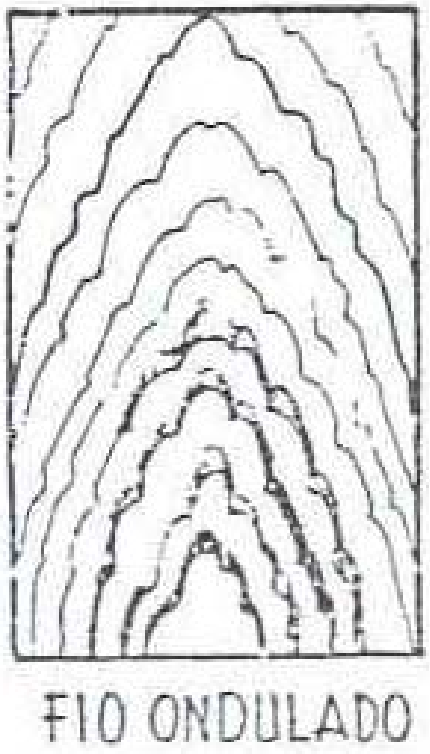
A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

d. Fio ondulado ou ondeado

O fio diz-se ondeado quando os elementos fibrosos, colectivamente, possuem curso ondeado, resultando, pelo fendimento, faces radiais onduladas e tangenciais lisas



e. Fio encaracolado

Caracterizado por desvios mais ou menos bruscos e repetidos do alinhamento longitudinal dos elementos fibrosos, aparentemente de menor comprimento de onda do que o que acontece no fio ondulado

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais

Veio, fio, textura, grão

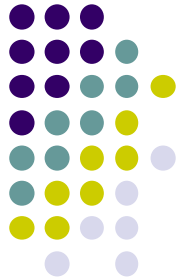
f. Fio irregular

Desvio anárquico do alinhamento dos elementos fibrosos sem qualquer sistematização ou lei aparente

TIPOS	ESPÉCIES	
	FOLHOSAS	RESINOSAS
Fio recto ou direito	*Populus* spp., *Salix* spp., *Juglans, Betula, Alnus, Castanea, Quercus* spp., *Ulmus, Celtis, Platanus, Prunus, Acacia, Gleditsia, Robinia, Acer*	*Cedrus, Abies, Pseudotsuga Picea, Larix, Pinus* spp., *Sequoia Cryptomeria, Cupressus lusitanica Chamaecyparis, Libocedrus Thuja, Juniperus*
Fio espiralado ou torcido	*Eucalyptus* spp.	*Pinus pinaster, P. nigra P. sylvestris, C. lusitanica*
Fio entrecruzado, contrafio ou revesso	*Eucalyptus, Ulmus, Celtis Platanus*	
Fio ondulado ou ondeado	*Castanea* (sobretudo manso) *Acer*	
Fio encaracolado	*Juglans* (cepa), *Populus nigra* (árvores seculares)	
Fio irregular	*Juglans* (toro basal) *Platanus* (troncos de árvores de arruamentos e parques)	

A estrutura da Madeira

Caracterização Macroscópica - grandes aspectos estruturais



No plano transversal:

- Anéis de crescimento
- Medula
- Lenho inicial e lenho final
- Lenho juvenil e lenho adulto
- Textura da madeira (relação lenho final/lenho inicial)
- Grão da madeira (diâmetro dos vasos e dos traqueídos)

Nos planos radial e/ou tangencial:

- Veio e fio da madeira

A estrutura da Madeira

Numa observação macroscópica (inclui lupa até 20x), para além dos grandes aspectos estruturais, podem observar-se também:

nas Resinosas

- canais de resina
- raios lenhosos
- elementos parenquimatosos

nas Folhosas

- poros (seccionamento dos vasos)
- raios lenhosos
- parênquima
- depósitos gomosos

A estrutura da Madeira

Caracterização Microscópica – principais aspectos estruturais

Numa observação microscópica podemos comprovar que, como qualquer ser vivo, a madeira apresenta uma estrutura celular. As células têm uma forma mais ou menos rectangular e orientam-se maioritariamente na direcção do eixo da árvore.

nas Resinosas

- traqueídos (sustentação e transporte)
- raios lenhosos
- elementos parenquimatosos

nas Folhosas

- vasos
- fibro-traqueídos
- parênquima

A estrutura da Madeira

Caracterização Microscópica - *Estrutura de Resinosa*

Legenda:

a – lenho inicial (madeira de Primavera, traqueídos de lúmen largo)

b – lenho final (madeira de Verão, traqueídos de lúmen estreito)

c – limite camadas crescimento (fim de ciclo vegetativo)

d – raio lenhoso

e – canal de resina vertical

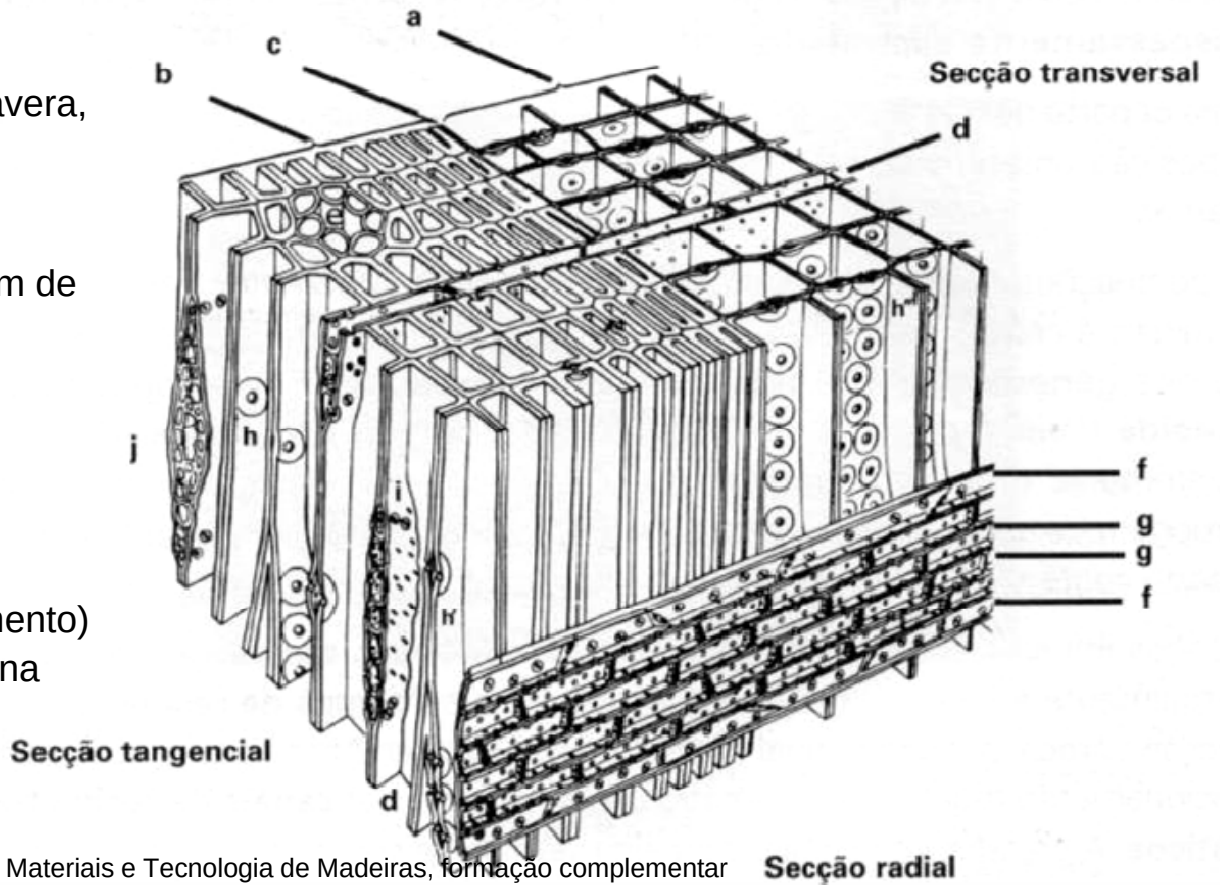
f – traqueídos radiais (marginais)

g – células de parênquima

h – pontuações areoladas

i – pontuações (campo de cruzamento)

j – raio lenhoso com canal de resina horizontal

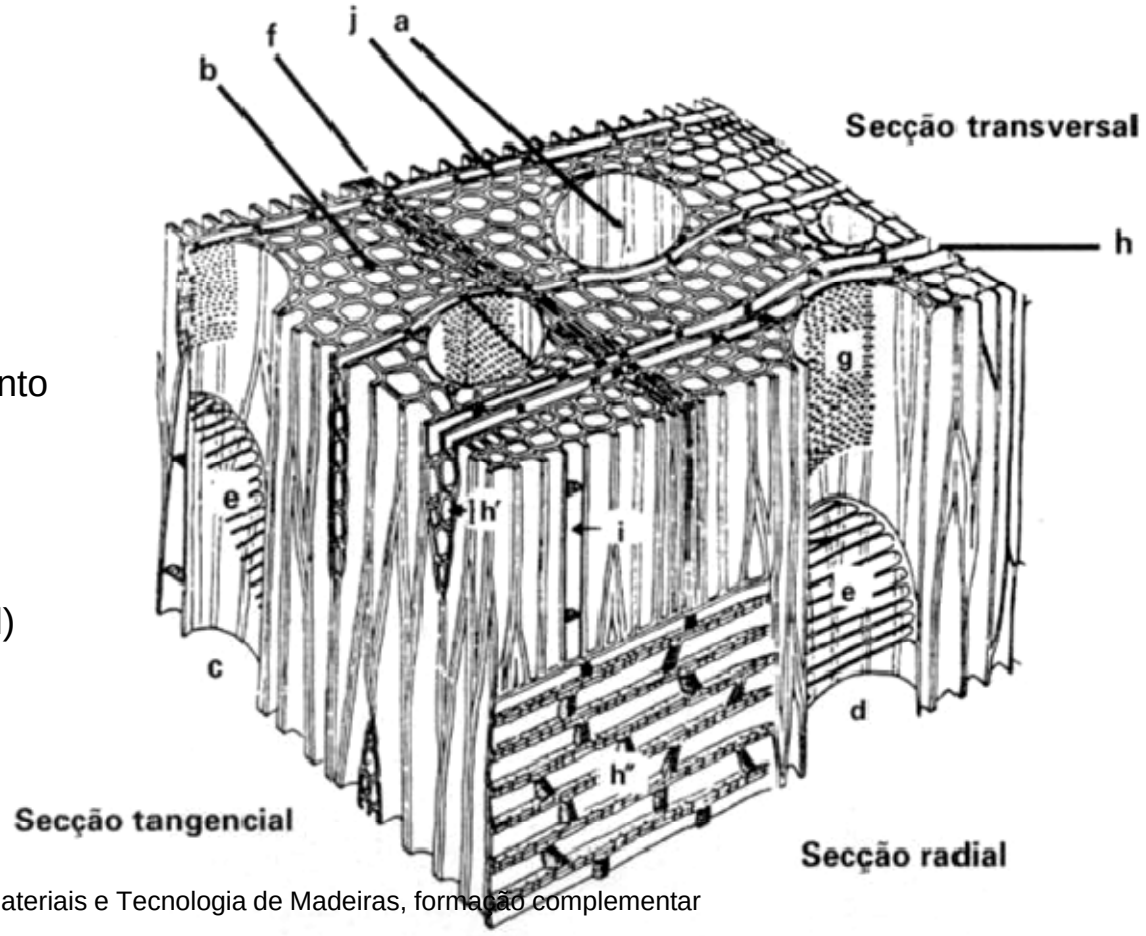


A estrutura da Madeira

Caracterização Microscópica - *Estrutura de Folhosa*

Legenda:

a – vaso ou poro (transporte)
b – fibra (suporte)
c – segmento vascular (tangencial)
d – segmento vascular (radial)
e – perfuração escalariforme
f – limite das camadas de crescimento (fim de ciclo vegetativo)
g – pontuações rádio-vasculares
h – raio lenhoso
i – parênquima axial
j – raio lenhoso (secção transversal)



A estrutura da Madeira

Ultra estrutura da parede celular

As unidades básicas da estrutura da parede celular são as **microfibrilas** (agrupamentos de cadeias de moléculas de celulose)

Da sua agregação em feixes microfibrilares, resultam as lamelas ou camadas que constituem a parede celular.

Legenda:

M – lamela média

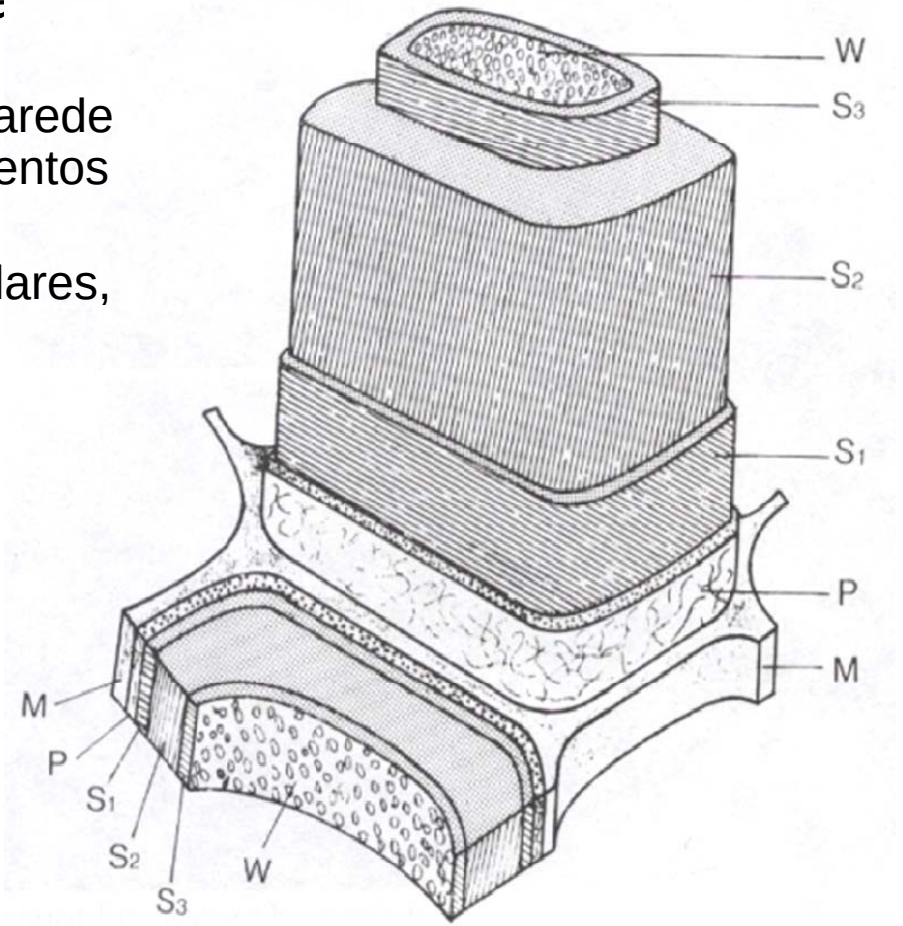
P – parede primária

S_1 – parede secundária (camada externa)

S_2 – parede secundária (camada média, 3 a 15 vezes mais espessa que S_1 e S_2 juntas)

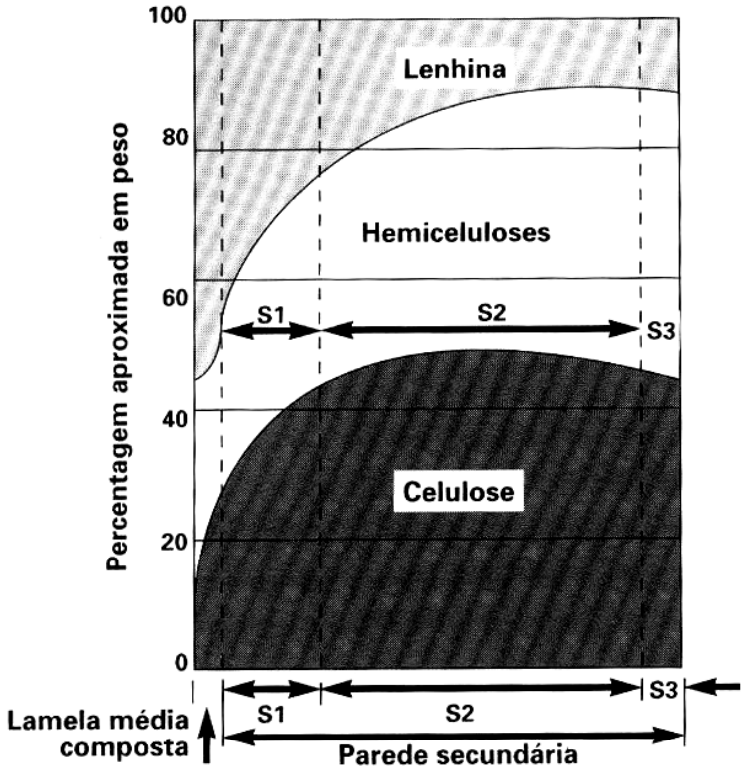
S_3 – parede secundária (camada interna)

W – lúmen da célula



Composição Química da Madeira

Os mais importantes componentes químicos da madeira são a celulose, as hemiceluloses e a lenhina. Outros constituintes tomam a designação genérica de extractivos.



- A celulose contribui para a resistência à tracção da estrutura lenhosa.
- Quanto ás hemiceluloses, admite-se que servem como matriz temporária antes da lenhificação.
- A lenhina confere rigidez e dureza à parede celular, sendo também responsável pela durabilidade da substância lenhosa.

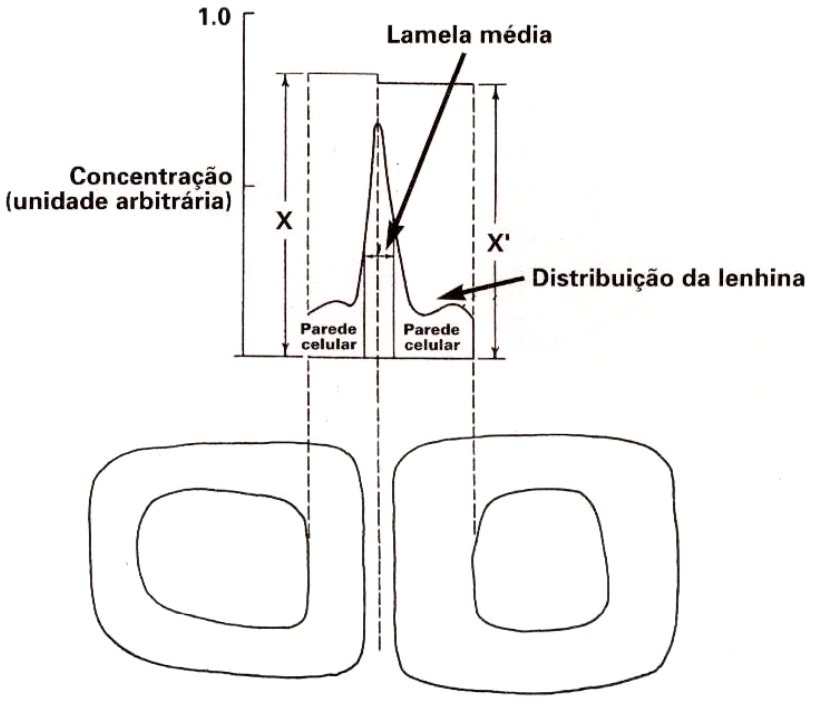
Composição Química da Madeira

Composição química da parede celular

A lamela média é quimicamente caracterizada pela predominância de lenhina que funciona como elemento aglutinador das células

A parede primária encontra-se altamente lenhificada e contém uma quantidade considerável de hemiceluloses (nesta parede o teor de celulose não excede os 20-25%)

Na parede secundária, as substâncias predominantes são a celulose, as hemiceluloses e a lenhina



TECNOLOGIA DA MADEIRA

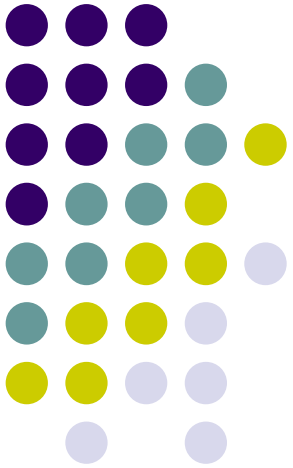
Referências:

Madeiras Portuguesas, vol. I

Albino de Carvalho, Lisboa, 1996

Tecnologia de la Madera,

S. Peña, F. Peris, E. Méndez, C. Pérez, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1981

Le Bois, as Structure, ses Proprietés, ses Utilisations,

P. Rochete, monographies Dunod, 1964