

# Tecnologia Produtos Florestais

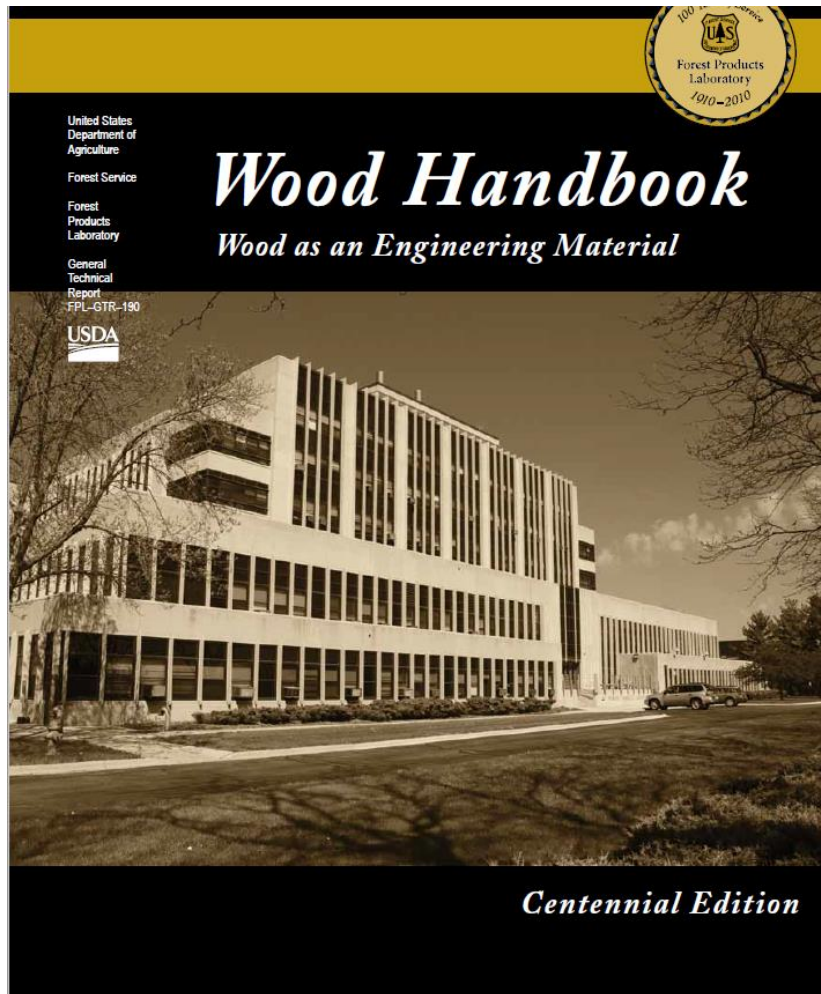
## **Comportamento mecânico da madeira**

José Saporiti Machado  
Eng. Florestal  
Investigador Auxiliar /Laboratório Nacional de  
Engenharia Civil

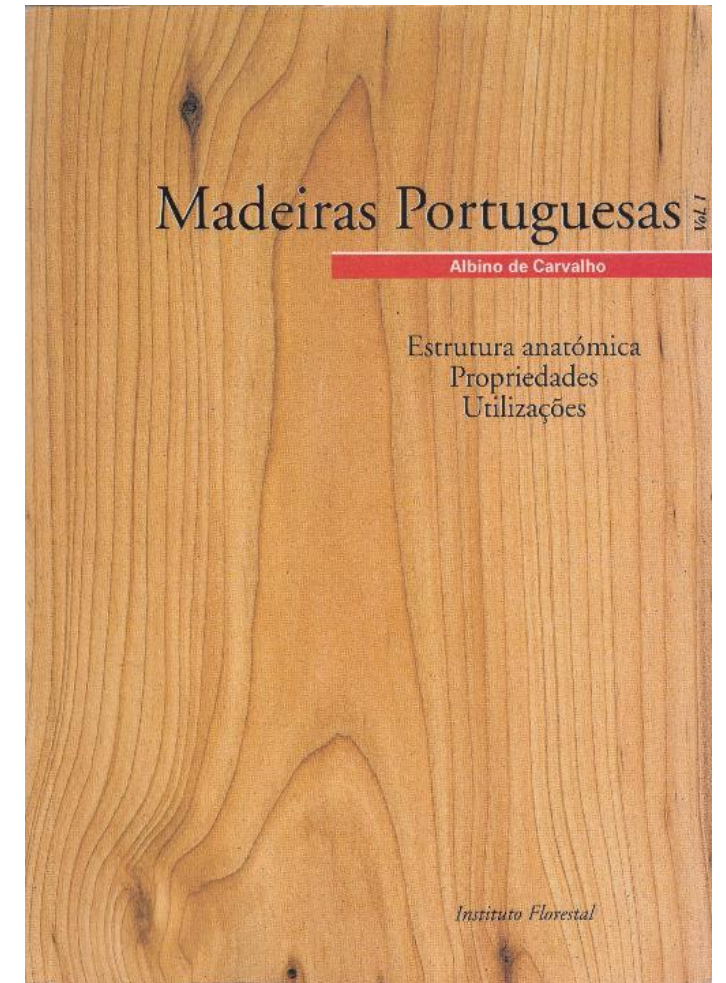
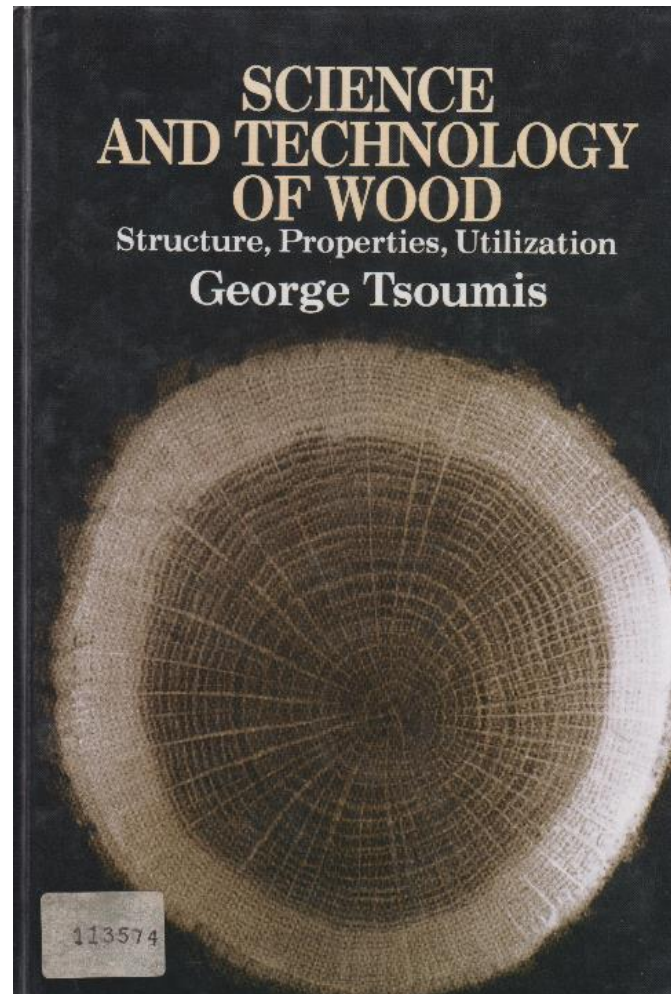
## **Contéudo**

1. A madeira como material estrutural de natureza biológica
2. Comportamento mecânico da madeira
3. Fatores que afetam o comportamento mecânico da madeira
4. Caracterização mecânica da madeira
5. Normalização aplicável
6. Qualificação da madeira para fins estruturais

## Bibliografia



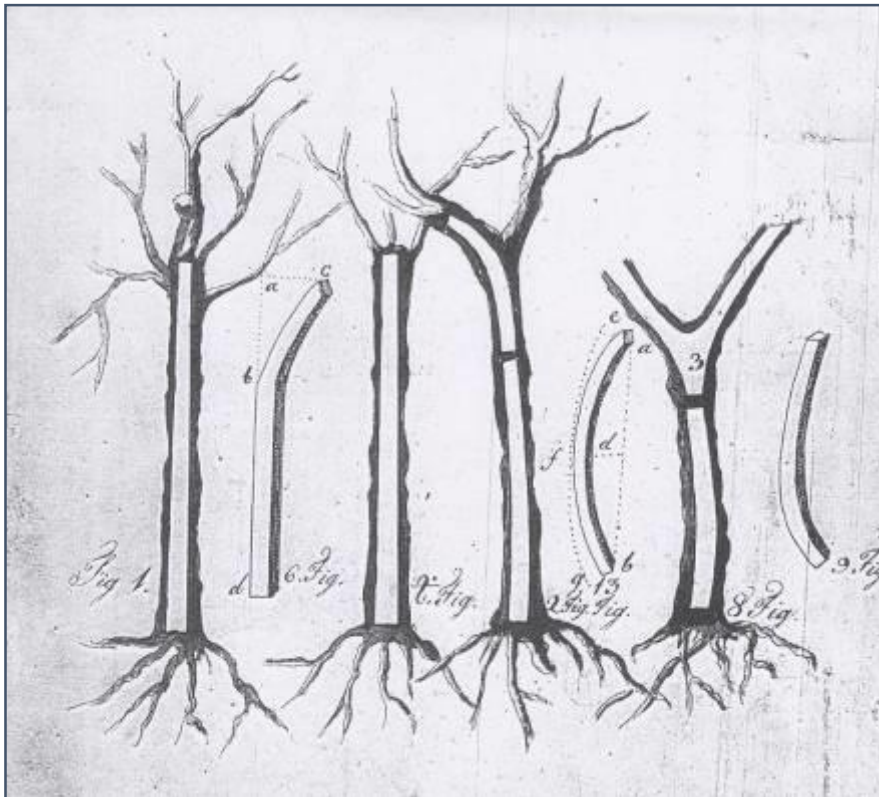
[https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr190.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf)



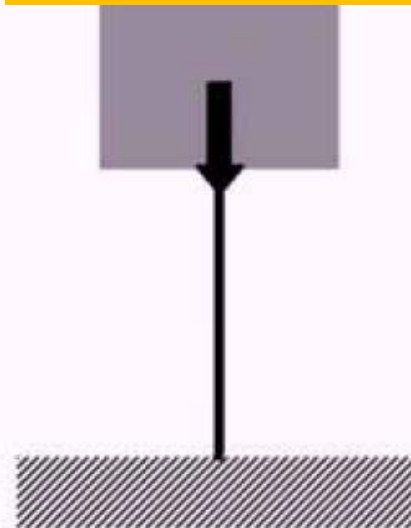
## 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

### Arranjo dos elementos celulares no tronco da árvore

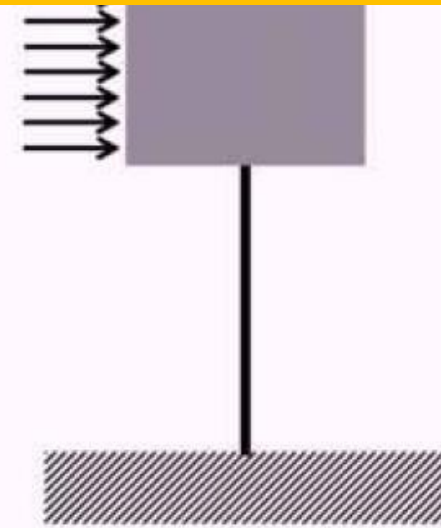
A maioria dos elementos celulares (90%) orientam-se segundo o eixo longitudinal do tronco da árvore, assegurando a condução da água e sais minerais e a resistência mecânica face às ações mecânicas a que o tronco se encontra sujeito



**Ação vertical  
Peso da copa**



**Ação horizontal  
Efeito do vento**





# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

## Arranjo dos elementos celulares no tronco da árvore

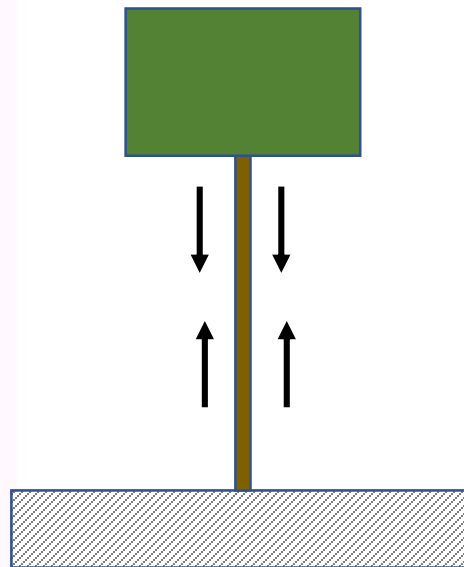
**Carga vertical**  
**Peso da copa**



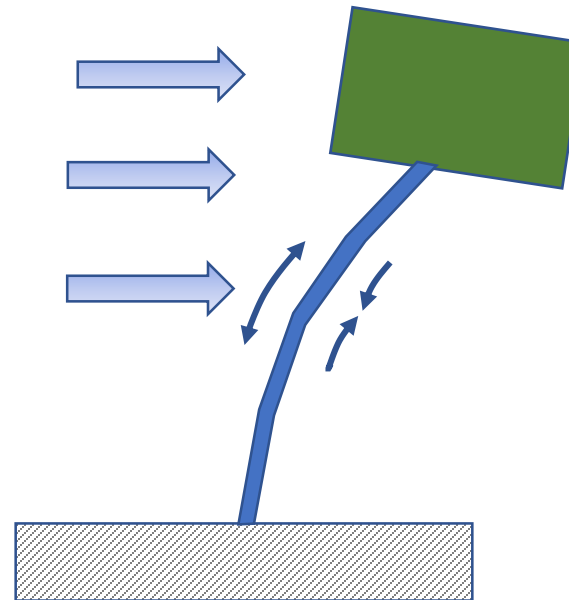
**Carga horizontal**  
**Efeito do vento**



**Comportamento**  
**mecânico da madeira**



Compressão  
paralela ao grão ou  
às fibras



Compressão  
paralela ao grão ou  
às fibras

Elevada resistência ao  
longo do comprimento  
dos elementos (vigas,  
pilares, etc)

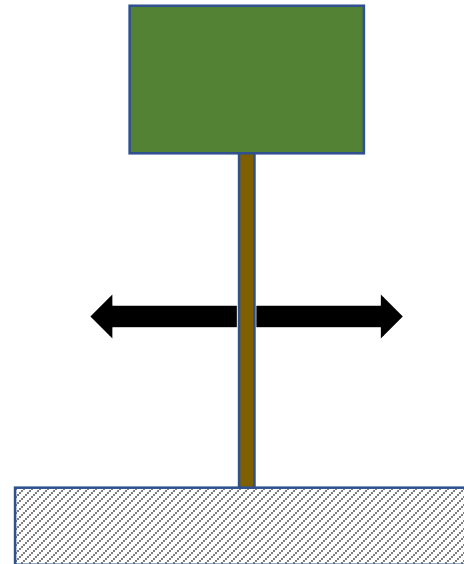
# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

## Arranjo dos elementos celulares no tronco da árvore

**Ação horizontal  
Nível do tronco**

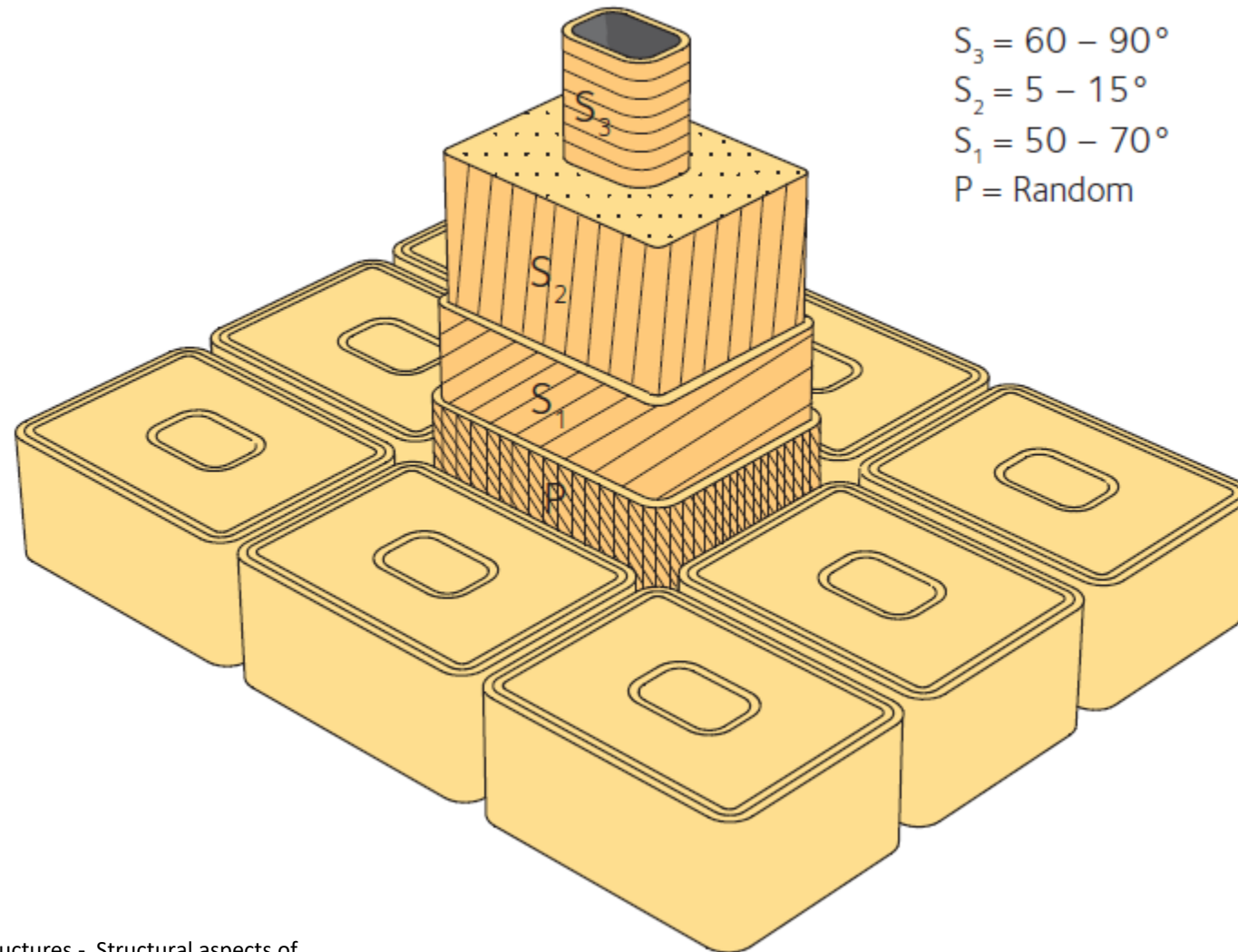


**Comportamento  
mecânico da madeira**



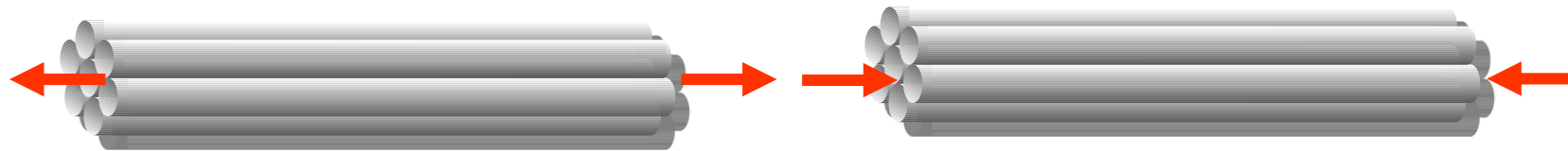
**Baixa resistência na  
direção transversal  
dos elementos**

## 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

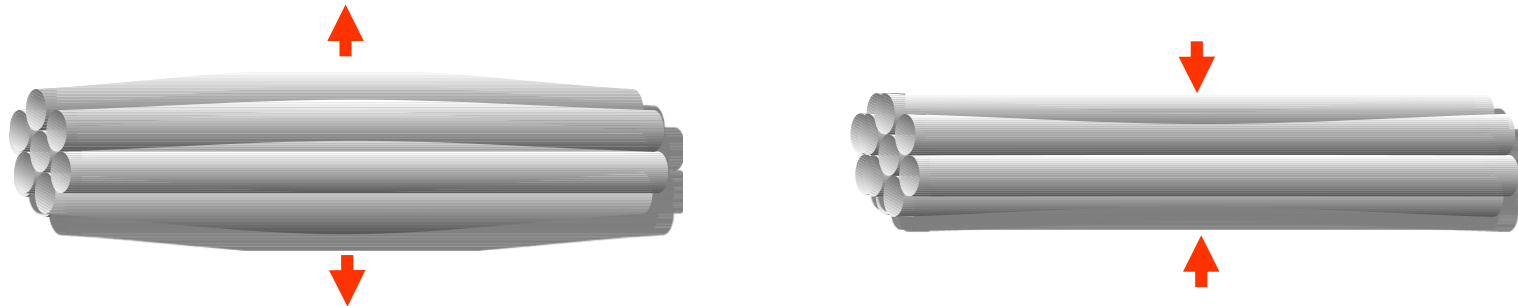


Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.

## 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica



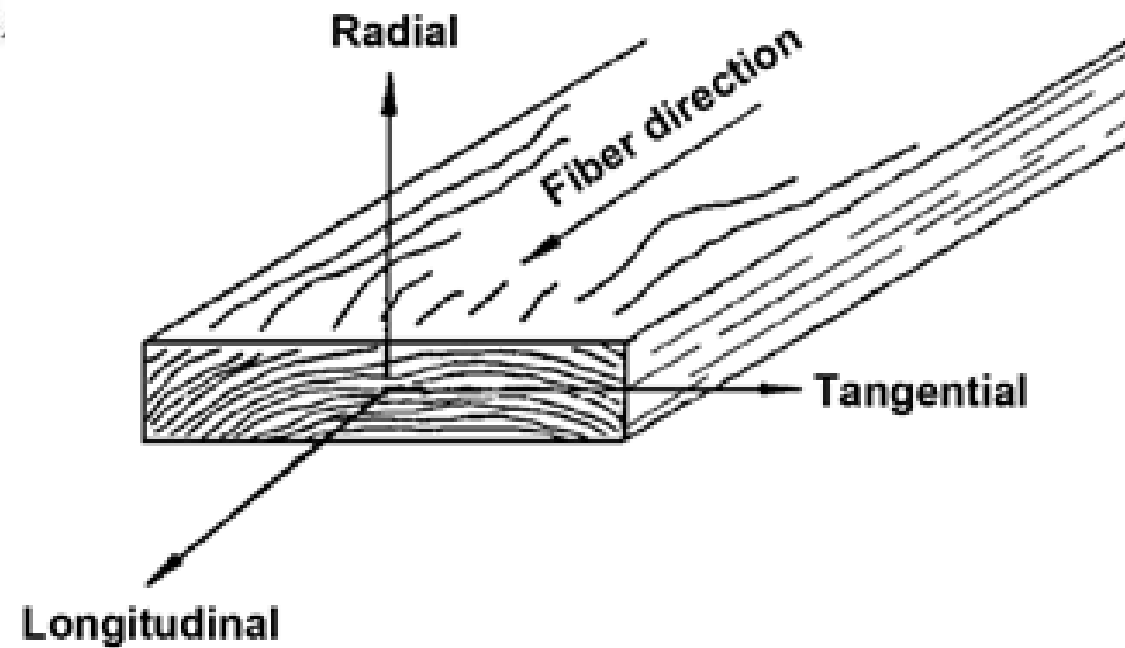
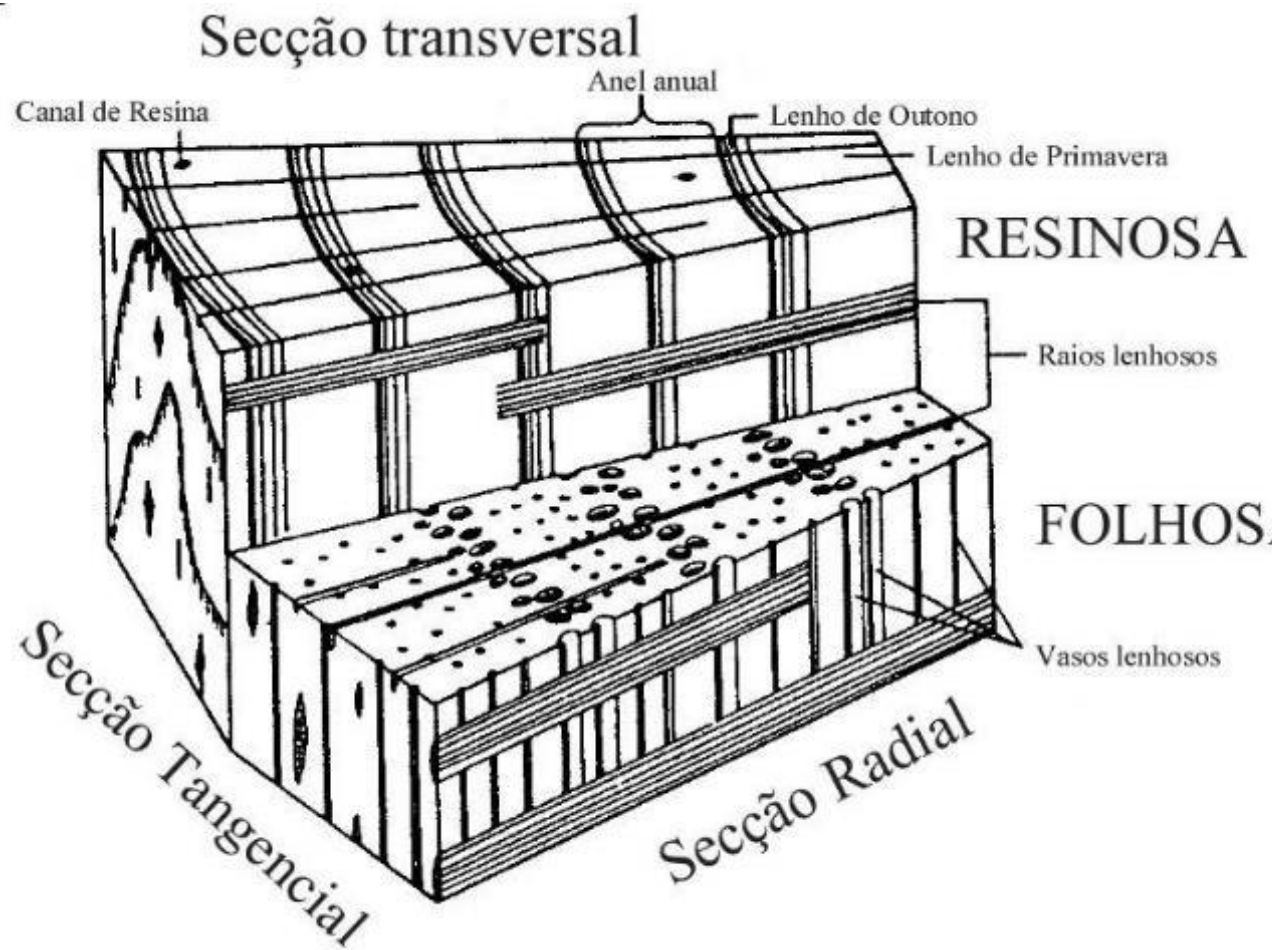
**Maior resistência e rigidez na direcção das fibras**



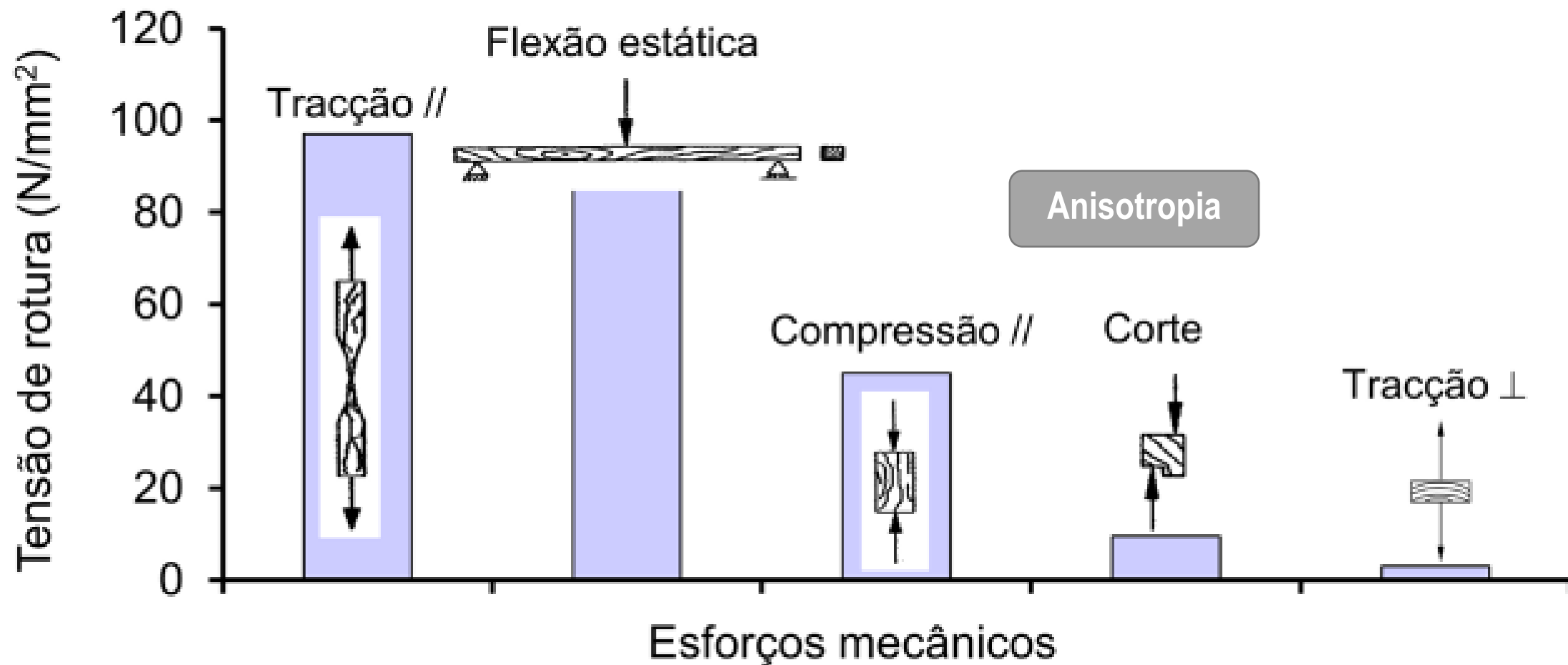
**Menor resistência e rigidez na direcção perpendicular às fibras**



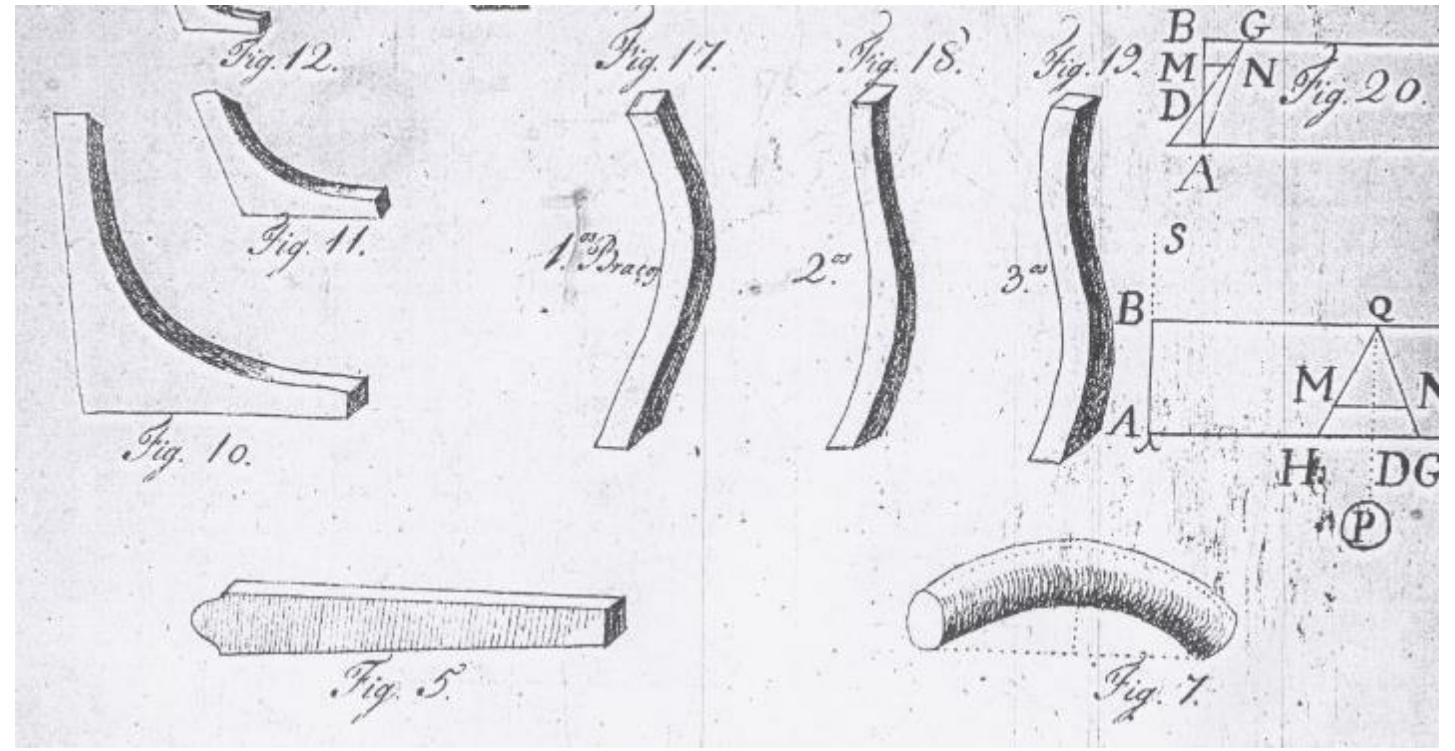
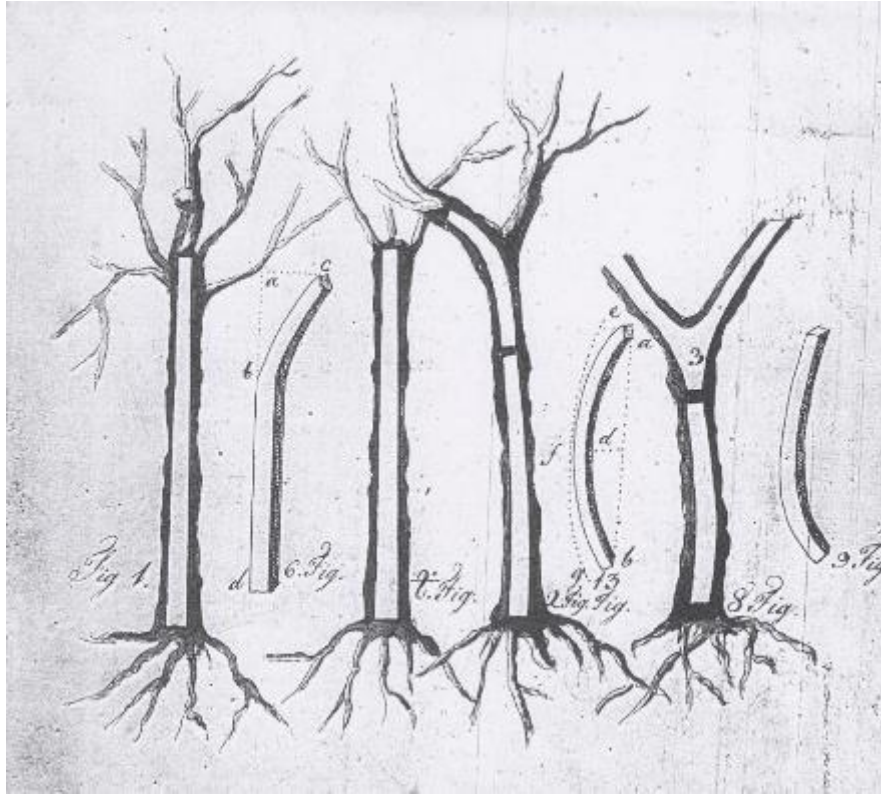
# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica



## 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

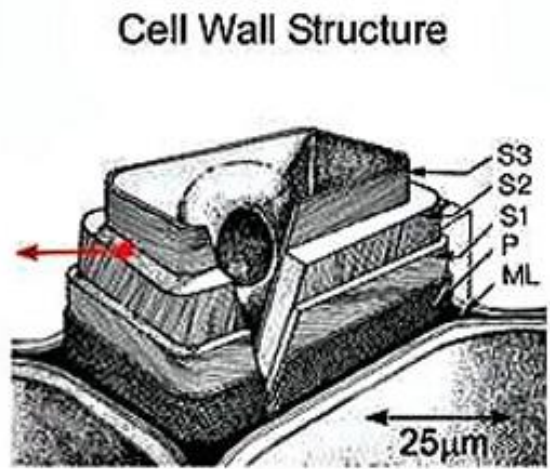
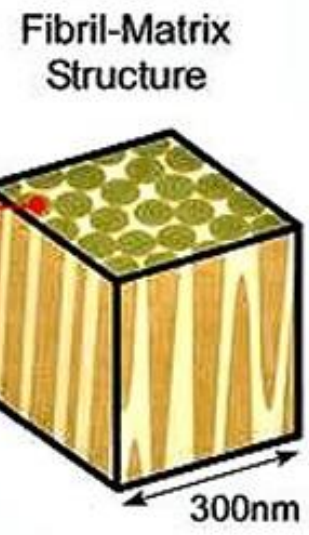
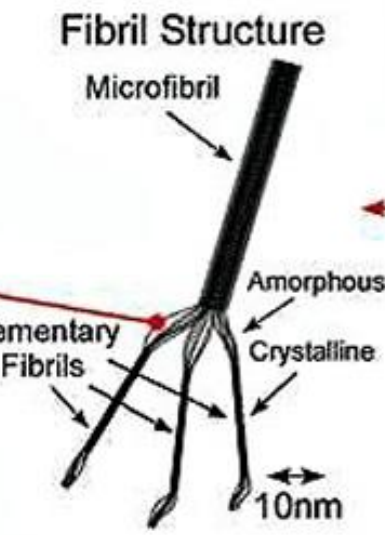
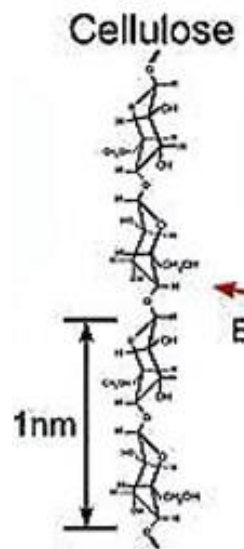
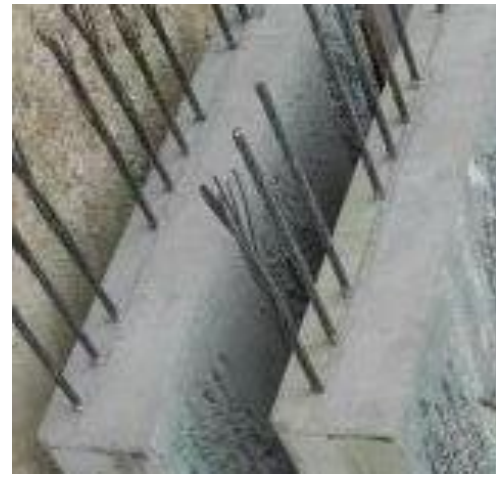
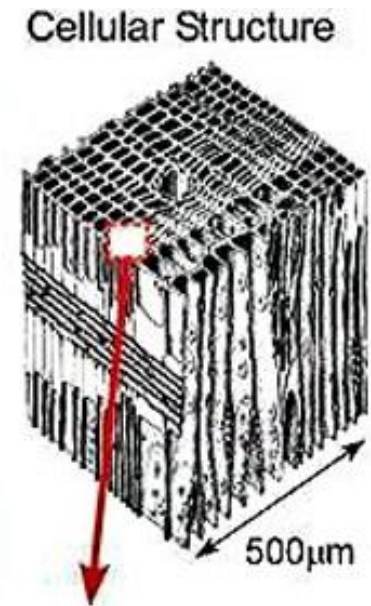
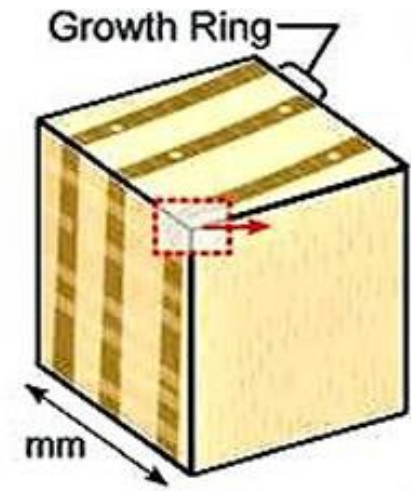
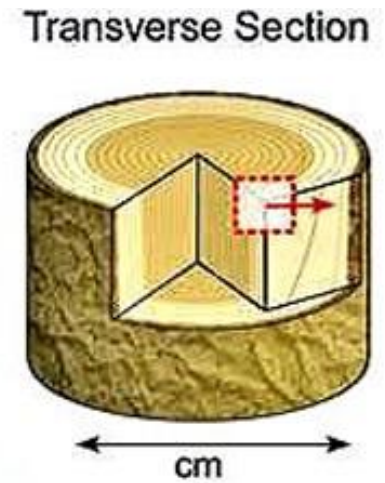
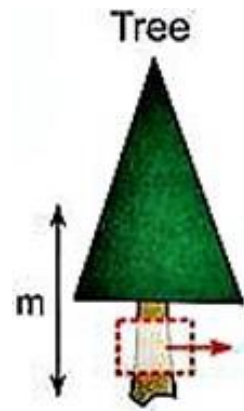


# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica



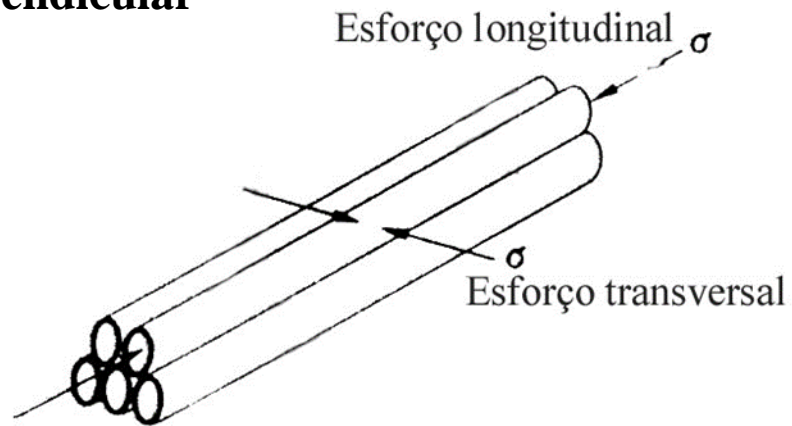


# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica



## 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

A resistência da madeira é 20 a 40 vezes superior na direcção paralela às fibras relativamente à resistência na direcção perpendicular



$$N = \frac{PQ}{P \sin^n \theta + Q \cos^n \theta} \quad \text{Equação de Hankinson}$$

$N$  - Resistência numa dada direcção com um ângulo  $\theta$  relativamente à direcção das fibras

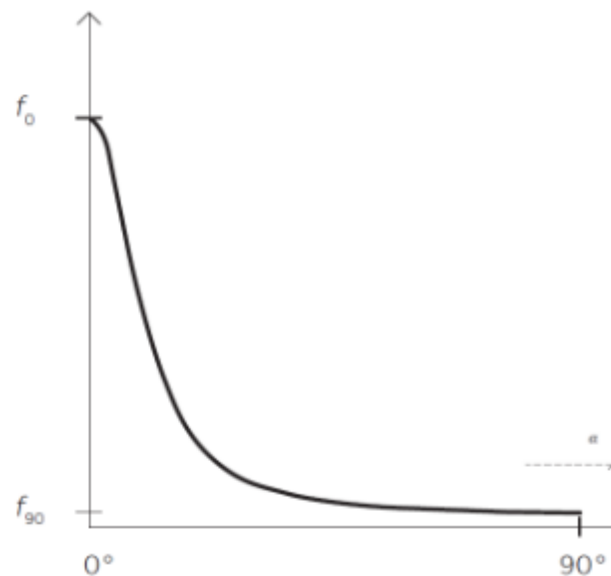
$P$  - Resistência paralela às fibras ( $\theta = 0^\circ$ )

$Q$  - Resistência perpendicular às fibras ( $\theta = 90^\circ$ )

$n = 1,5$  a  $2$  para tracção paralela às fibras, flexão estática e dinâmica

$n = 2$  a  $2,5$  para compressão axial

$n = 2$  para o módulo de elasticidade de





# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

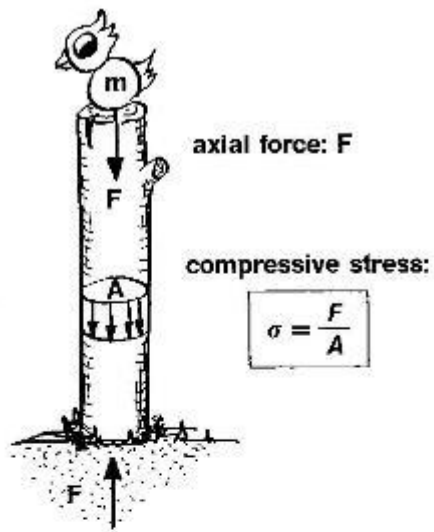


Fig. 1. The weight of a branch introduces an axial force (acceleration of gravity) compressive stresses  $\sigma$  = (force / sectional area) that act caused by this axial force

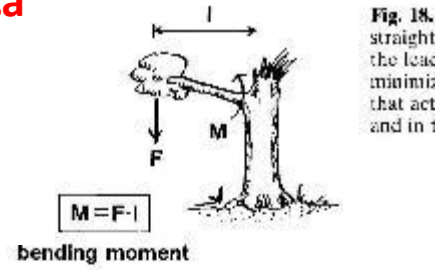
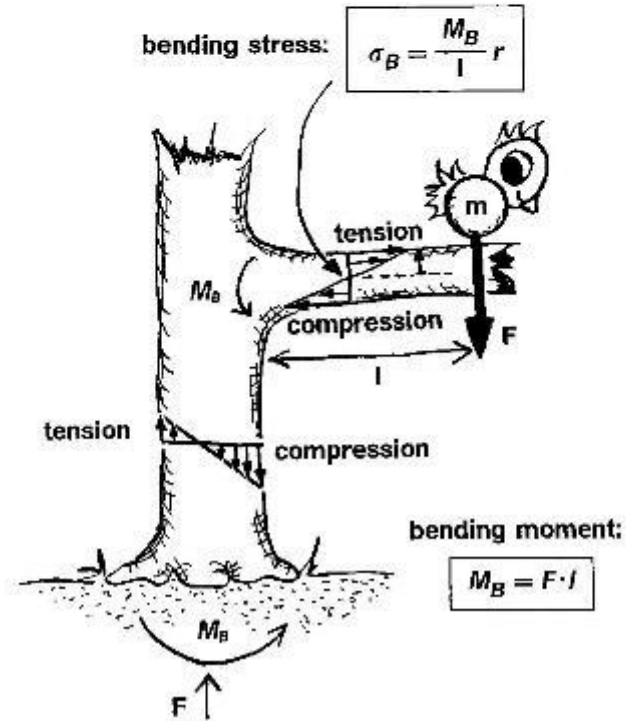
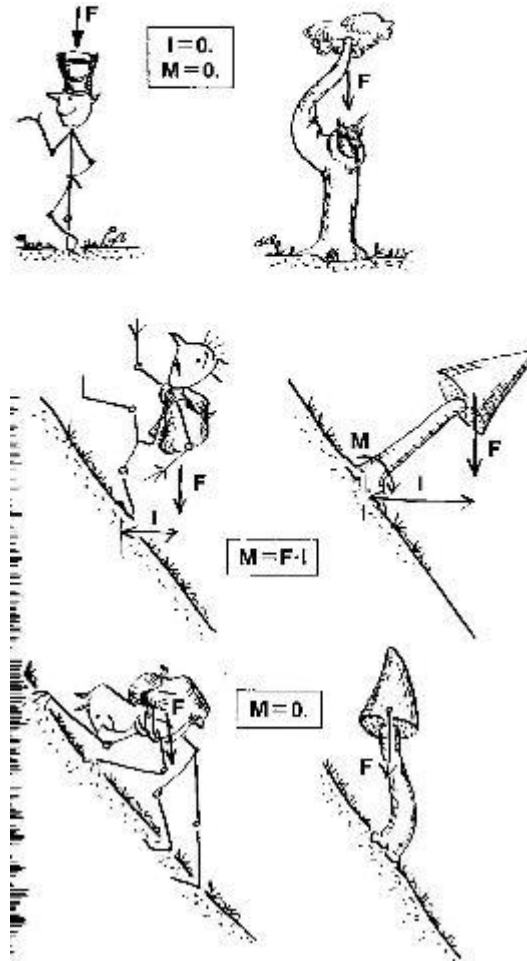
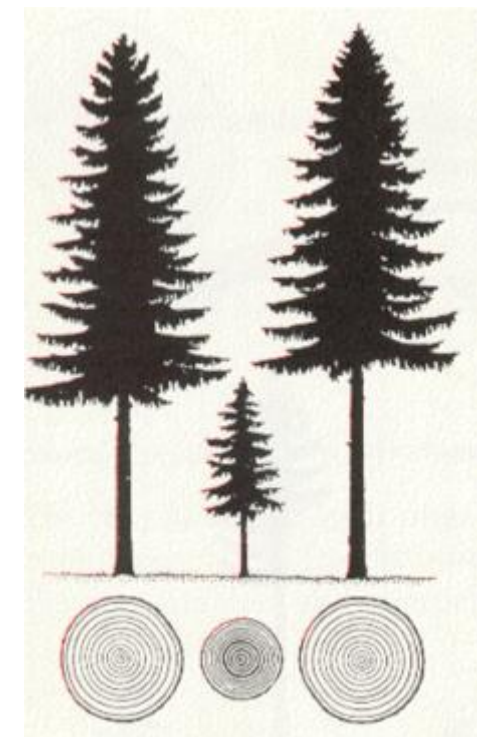
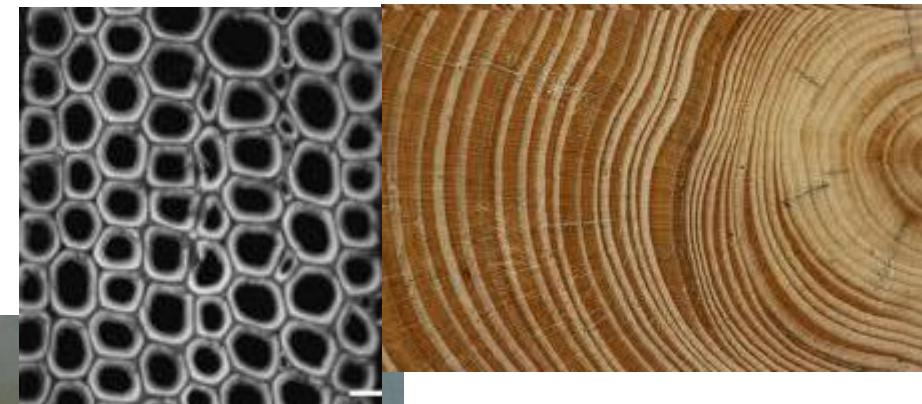
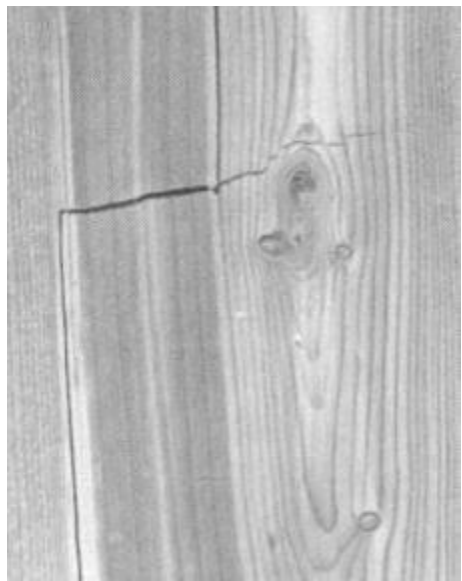
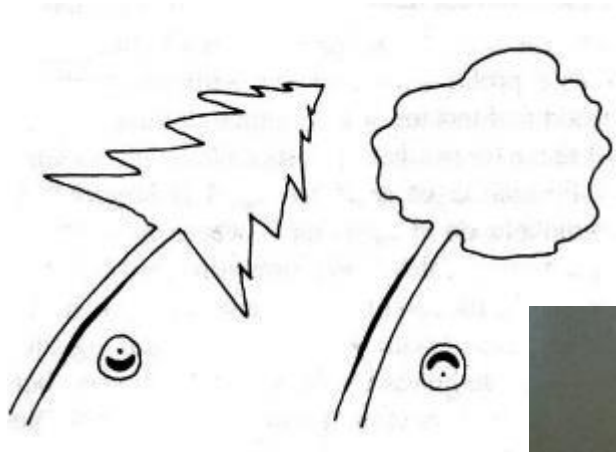


Fig. 18. straight the leaf minimizes that act and in it



# 1. A madeira como material estrutural de natureza biológica

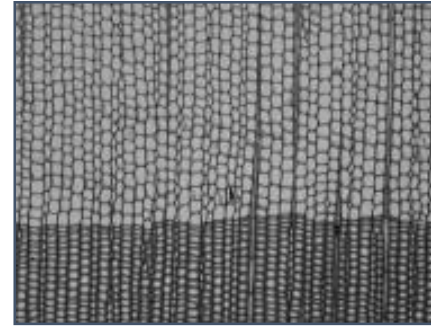




## 2. Comportamento mecânico da madeira

Diferentes escalas a que Podemos analisar a madeira

- **MICROESTRUTURA** (escala celular)  
Identificação de madeiras



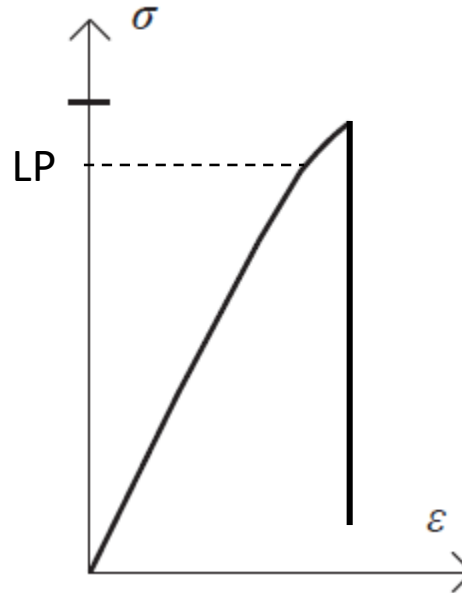
- **MESOESTRUTURA** (escala do anel de crescimento e madeira limpa de defeitos)  
Caracterização de madeiras – estudo comparativo



- **MACROESTRUTURA** (escala de madeira como material de construção)  
Utilização estrutural – Eurocódigo 5

## 2. Comportamento mecânico da madeira

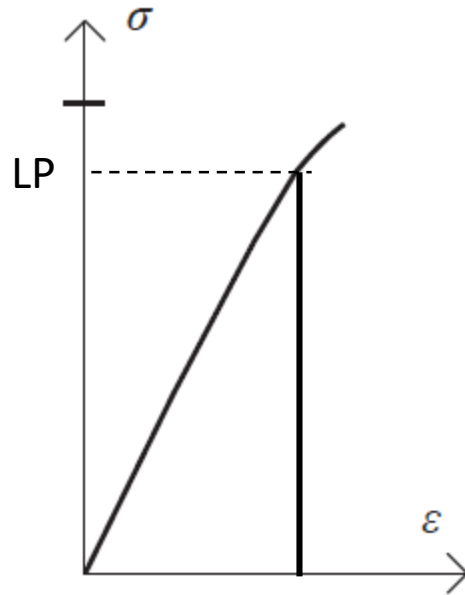
Ao ser aplicada uma carga o material deforma-se, deslocação dos seus elementos das suas posições originais, sendo que até um determinado limite (limite de proporcionalidade - LP) caso a carga seja retirada a deformação é reversível - **COMPORTAMENTO ELÁSTICO**.



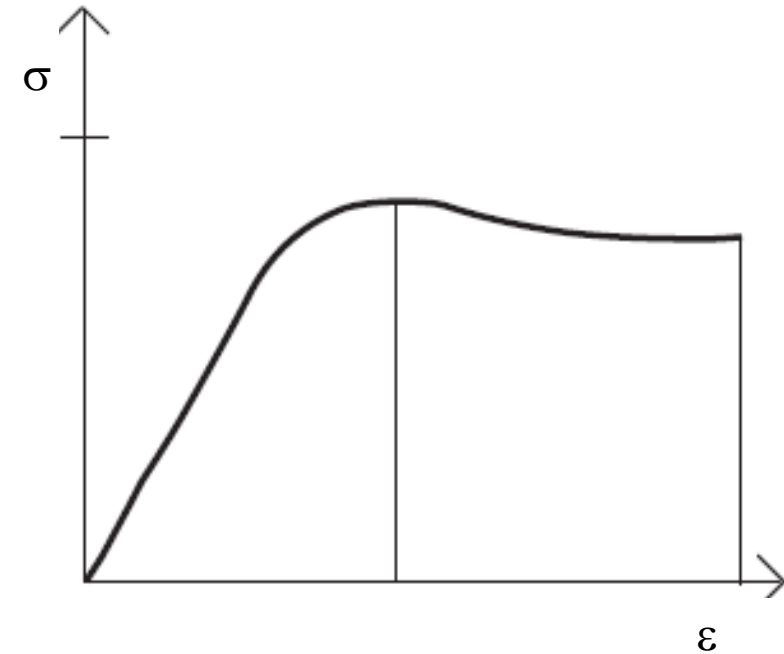
Para além do LP a madeira apresenta **COMPORTAMENTO PLÁSTICO**, a relação tensão-deformação já não é linear. Retirando a carga o elemento fica com uma deformação residual

Comportamento frágil

## 2. Comportamento mecânico da madeira



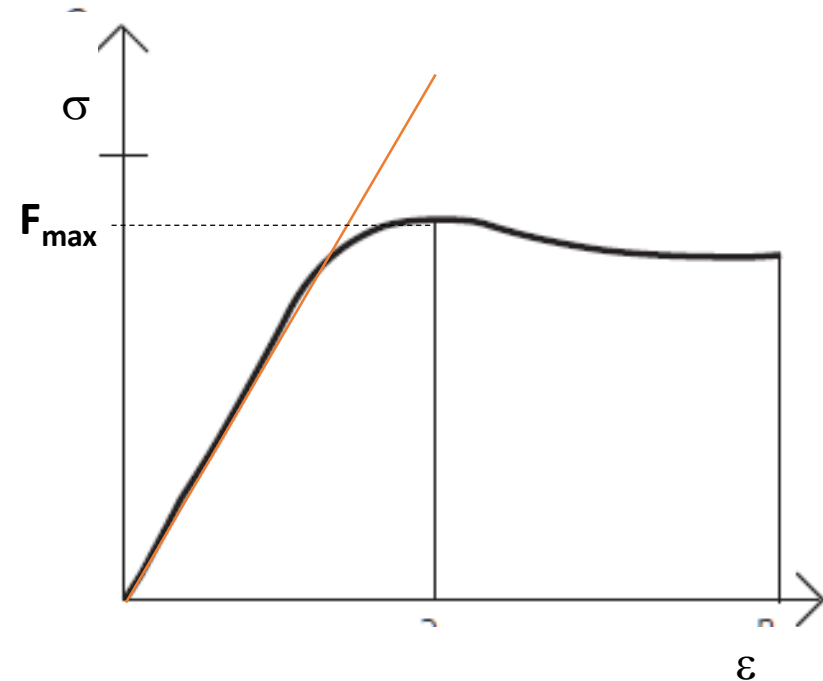
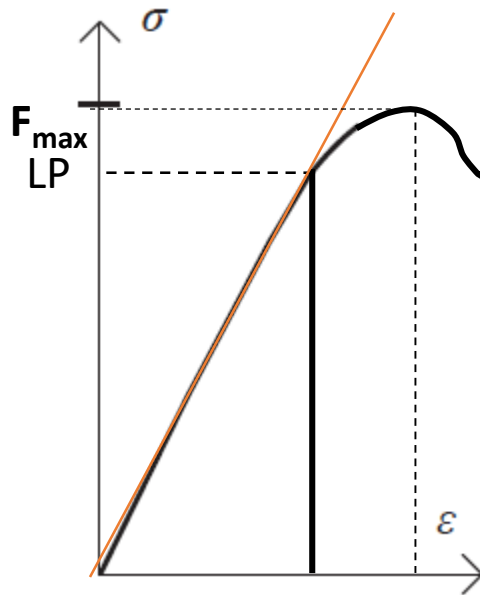
**COMPORTAMENTO FRÁGIL** - quando, após alguma deformação elástica, o material entra em rotura de forma abrupta.



**COMPORTAMENTO DÚCTIL** - quando, após alguma deformação elástica, o material entra em regime plástico e a rotura não ocorre de forma abrupta.



## 2. Comportamento mecânico da madeira

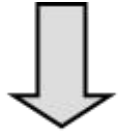


Elasticidade - relação entre tensão (esforço) e deformação apresentado por um material no regime de elasticidade linear

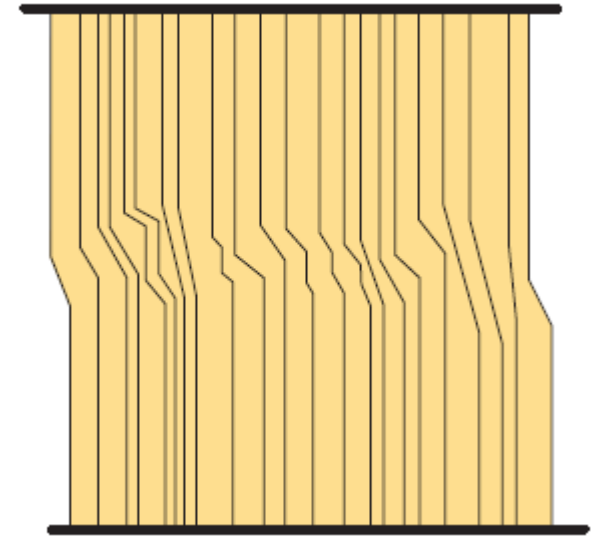
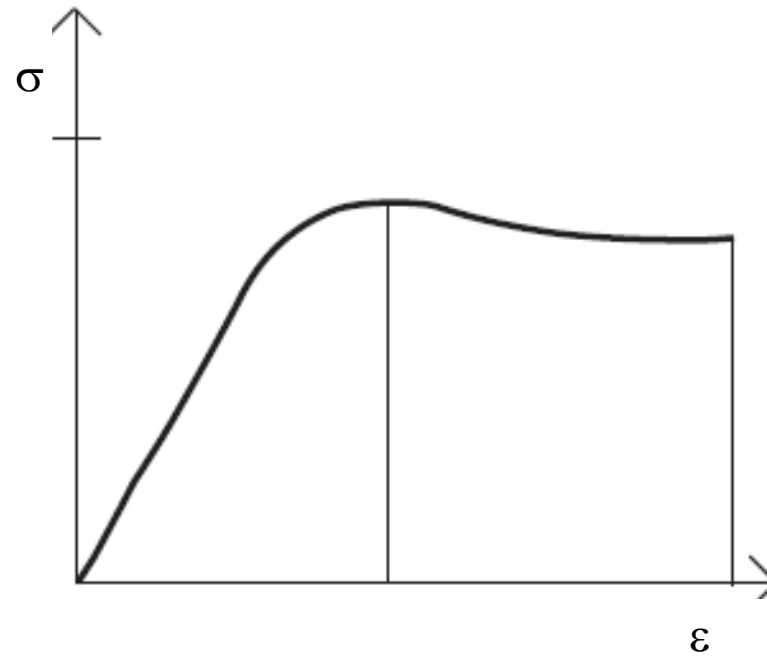
$$\text{Módulo de elasticidade} = \frac{\text{Tensão}}{\text{Deformação}}$$

Tensão de rotura - Resistência máxima do material quando sujeito a um determinado esforço

## 2. Comportamento mecânico da madeira



Comportamento à compressão axial (paralela ao grão ou às fibras da madeira)



## 2. Comportamento mecânico da madeira



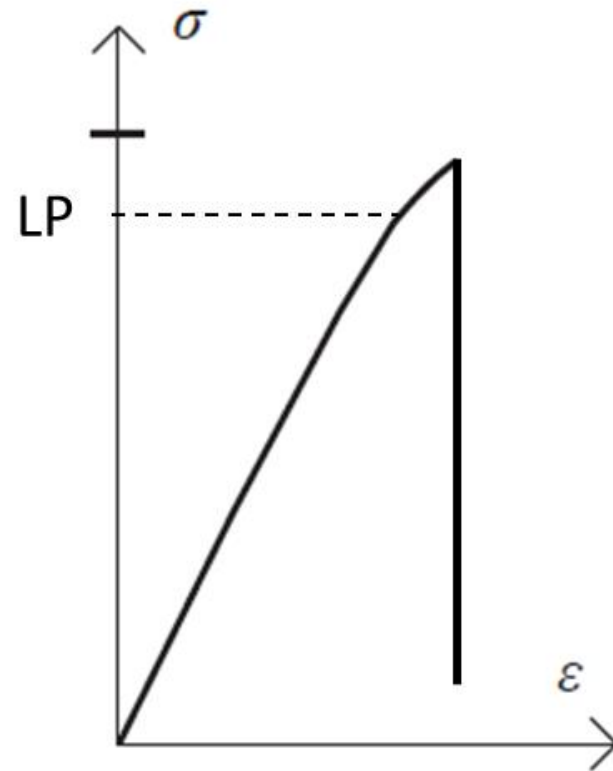
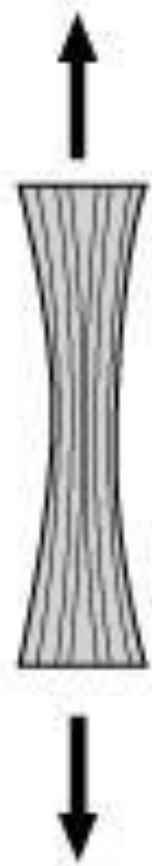
c)



Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.

## 2. Comportamento mecânico da madeira

Comportamento à tração axial (paralela ao grão ou às fibras da madeira)



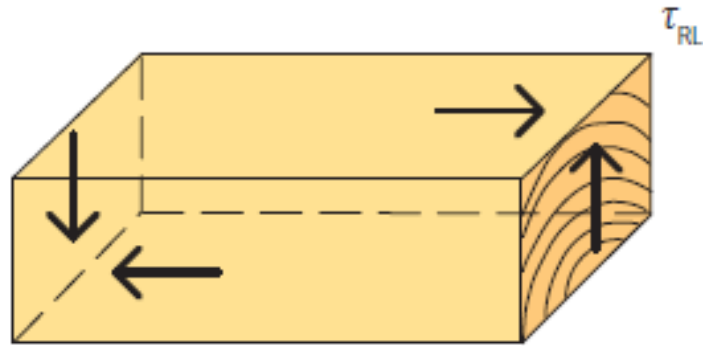
Lenho de outono



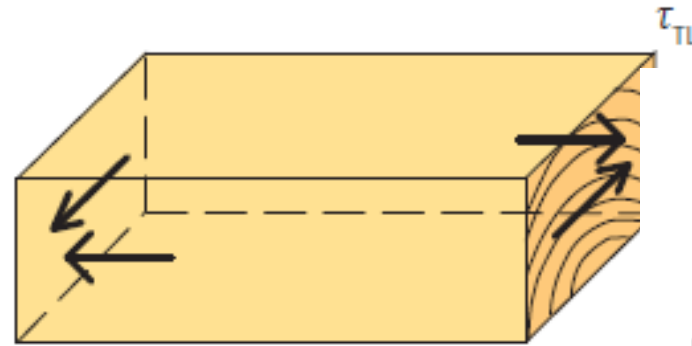
Lenho de primavera

## 2. Comportamento mecânico da madeira

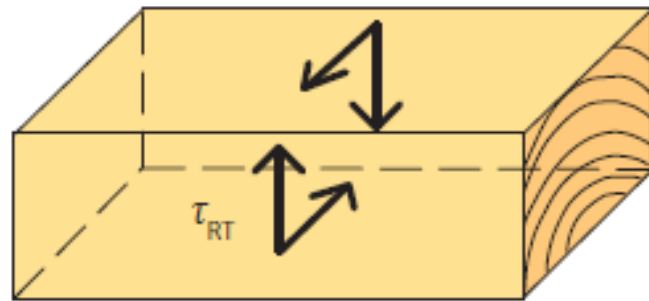
### Comportamento ao corte



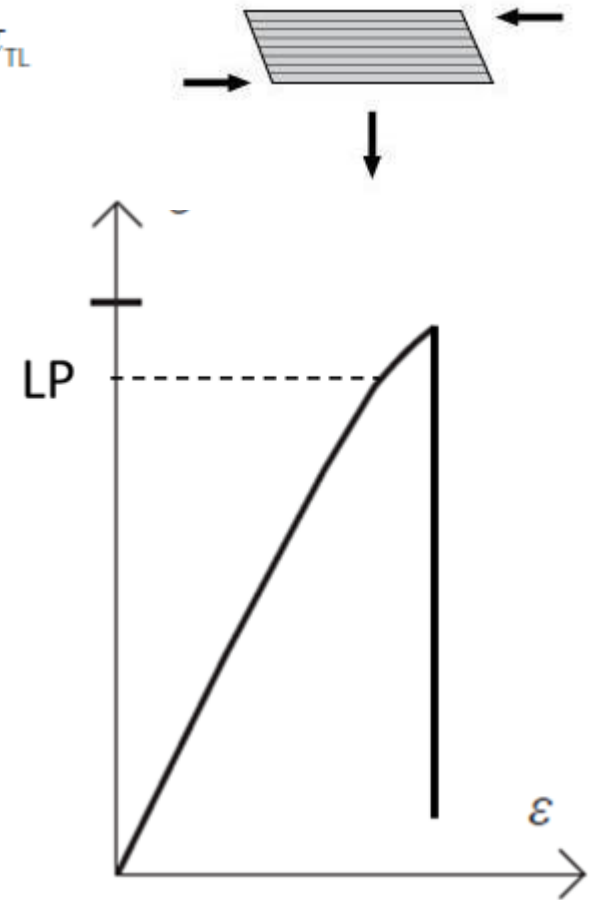
Shear longitudinal-radial



Shear longitudinal-tangential



Rolling shear

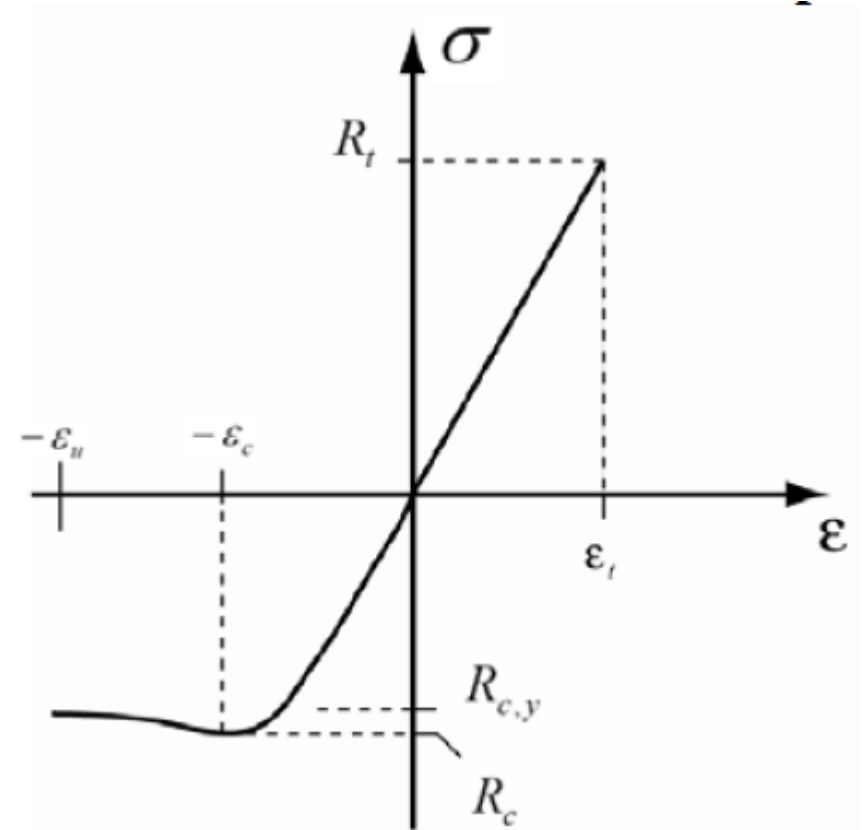
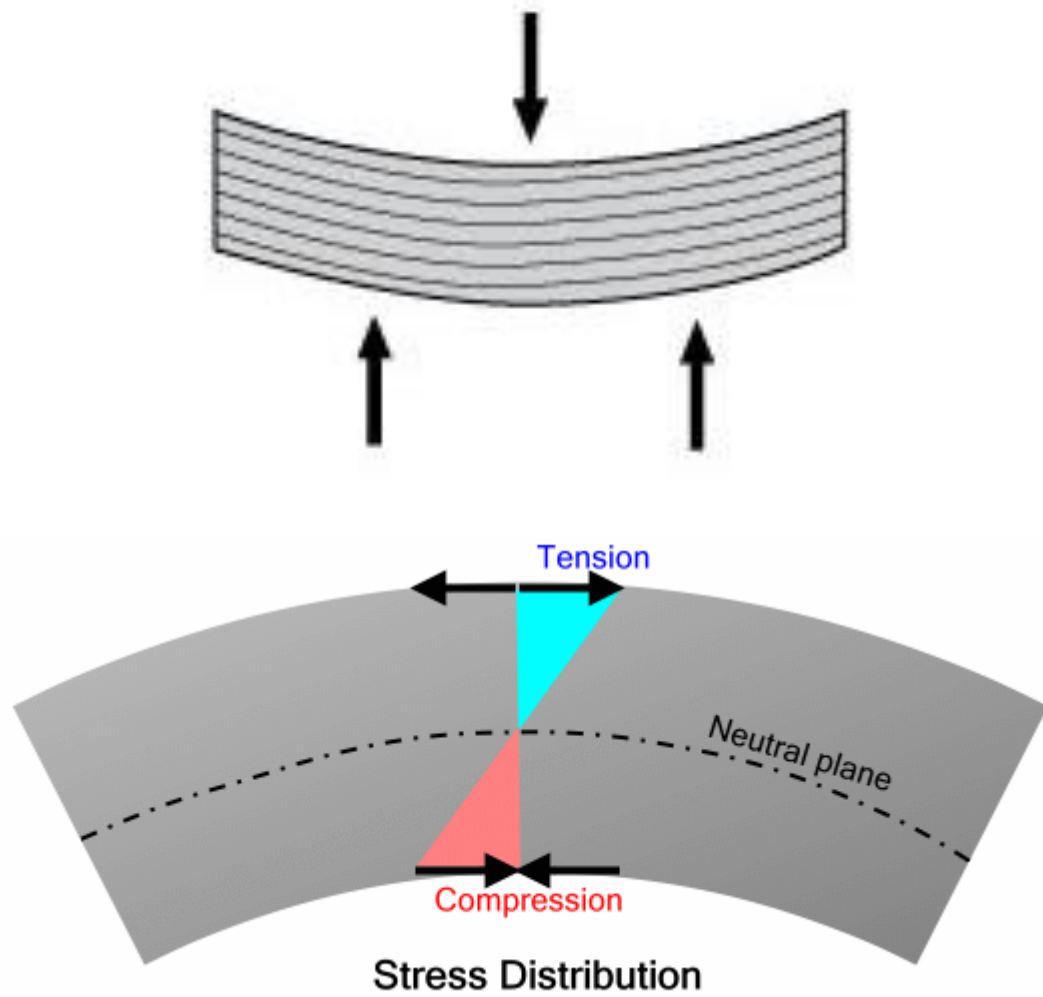


Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.



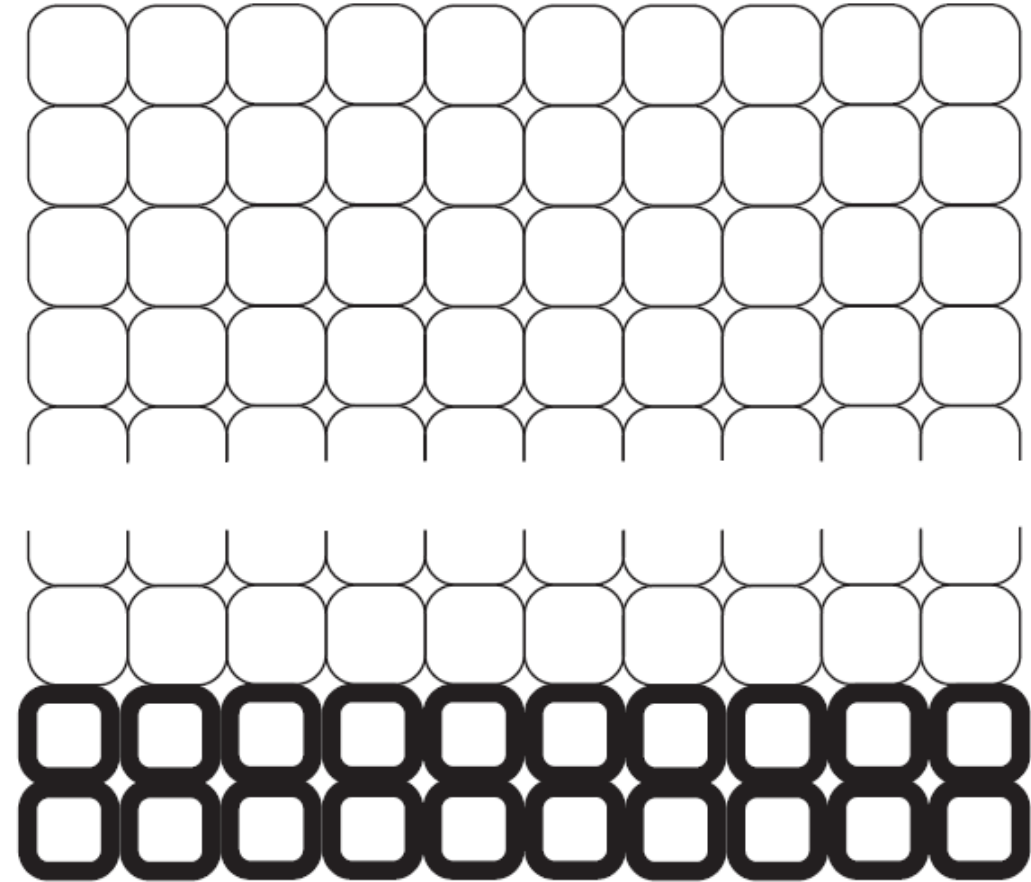
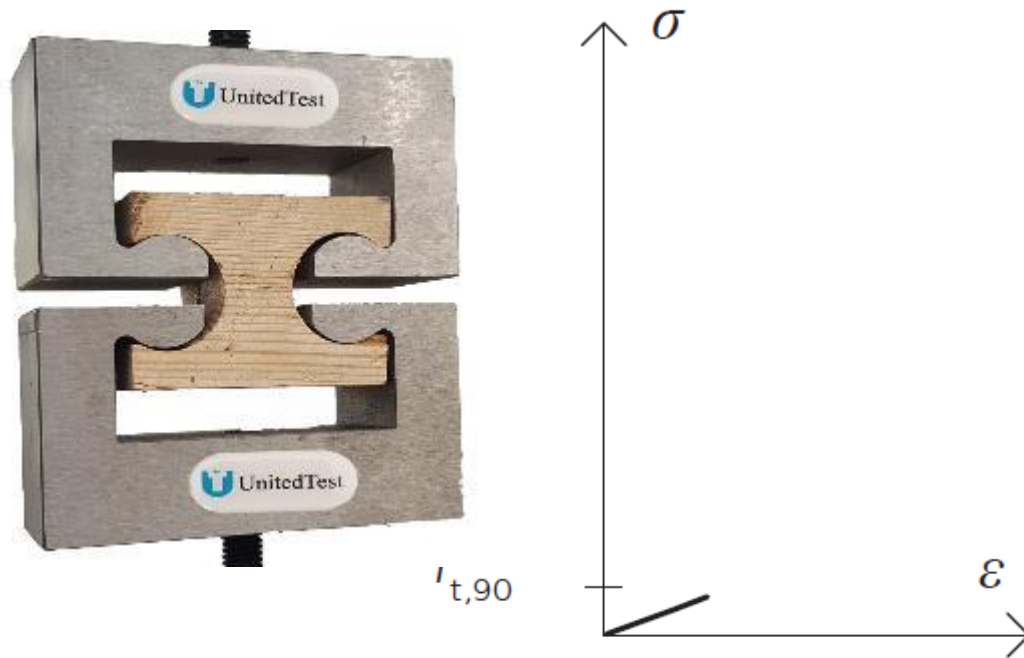
## 2. Comportamento mecânico da madeira

### Comportamento à flexão



## 2. Comportamento mecânico da madeira

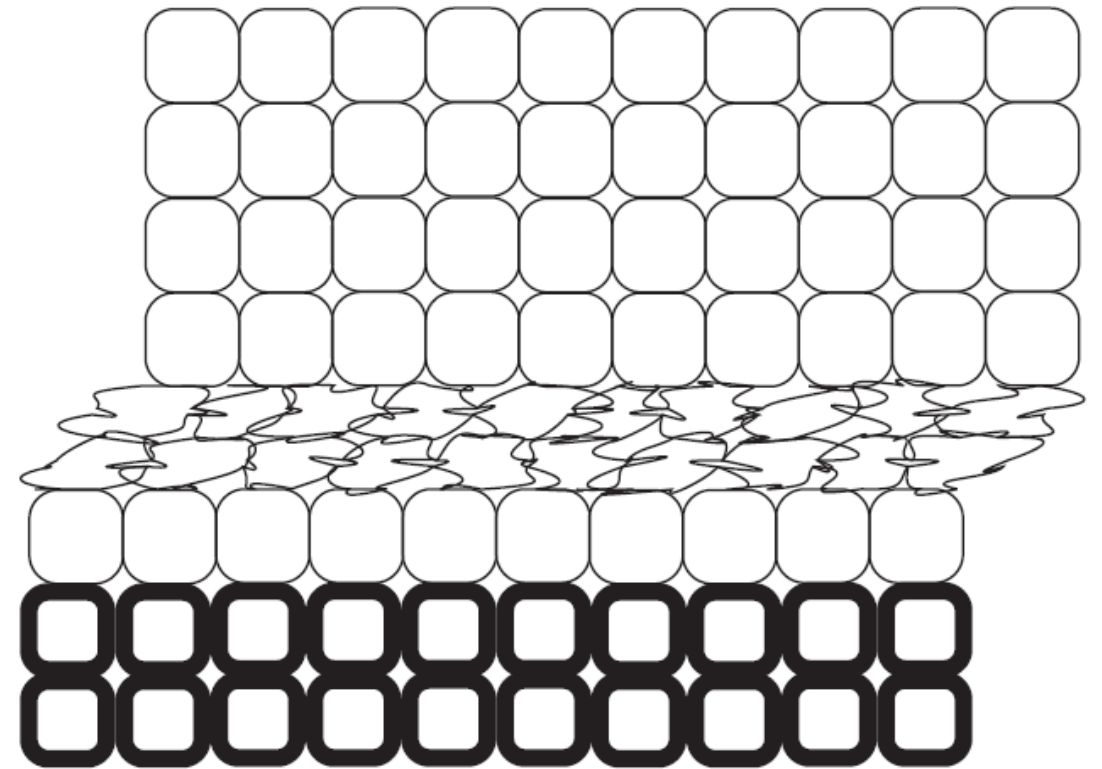
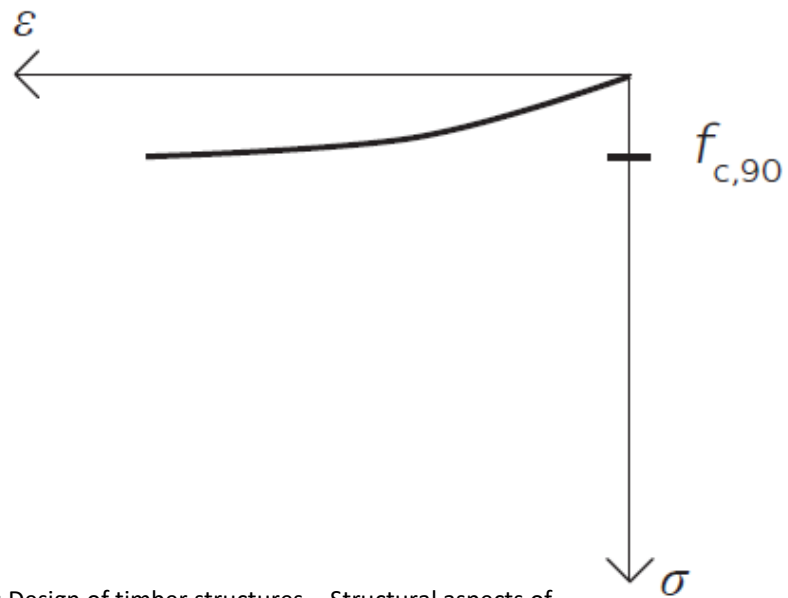
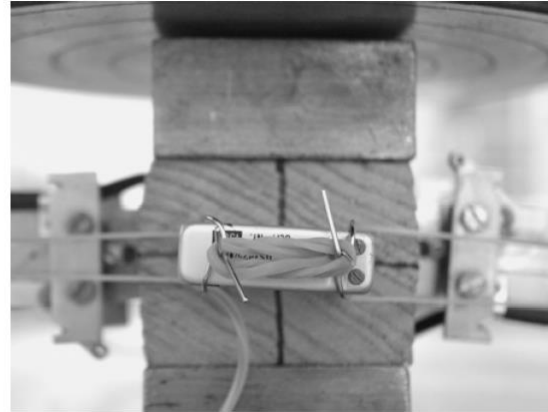
### Comportamento à tração perpendicular (perpendicular ao grão ou às fibras da madeira)



Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.

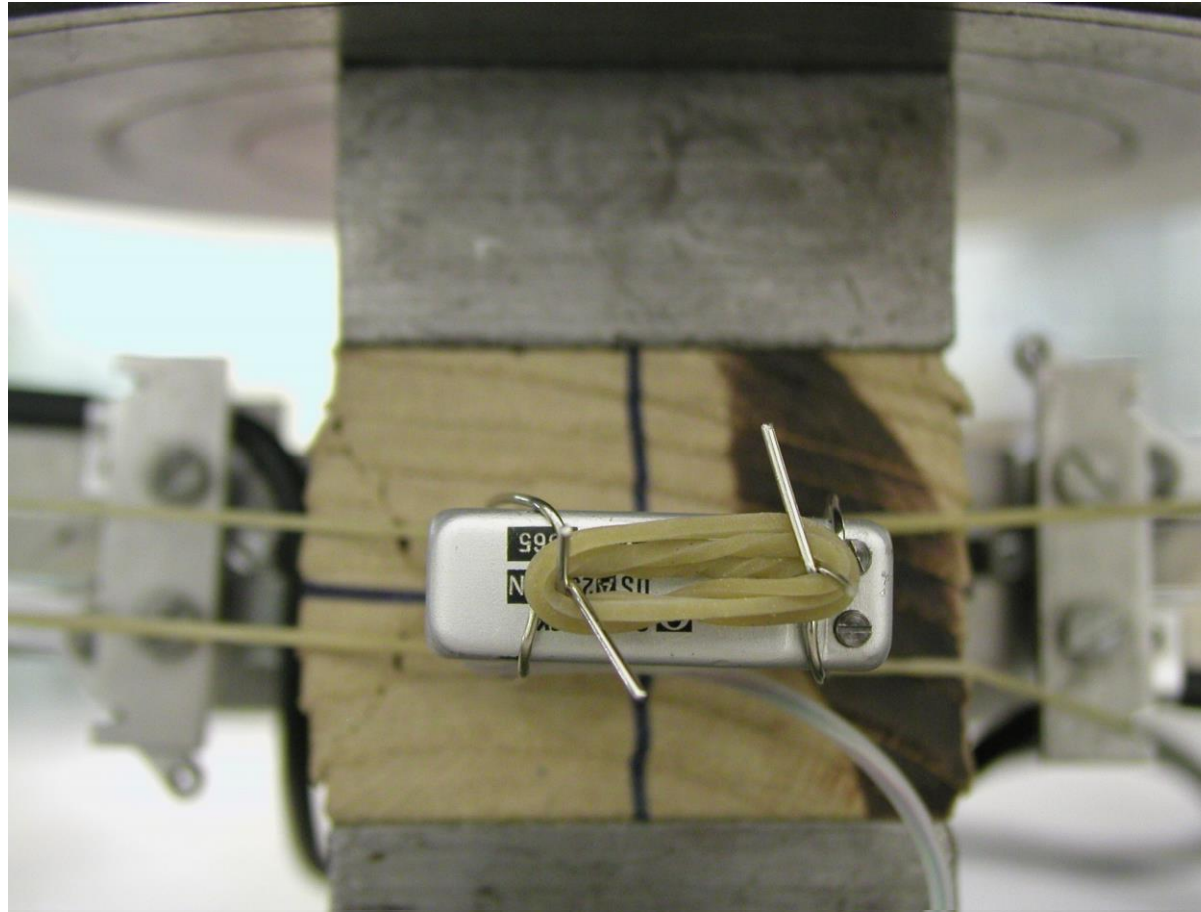
## 2. Comportamento mecânico da madeira

### Comportamento à compressão perpendicular (perpendicular ao grão ou às fibras da madeira)

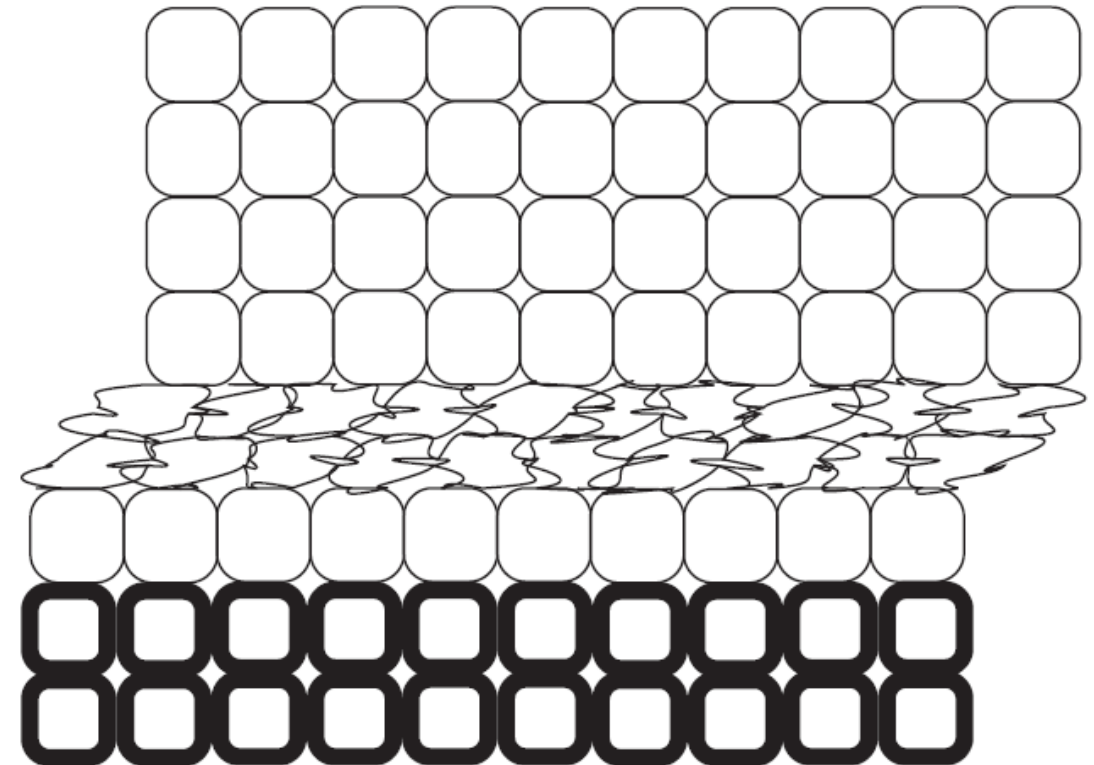
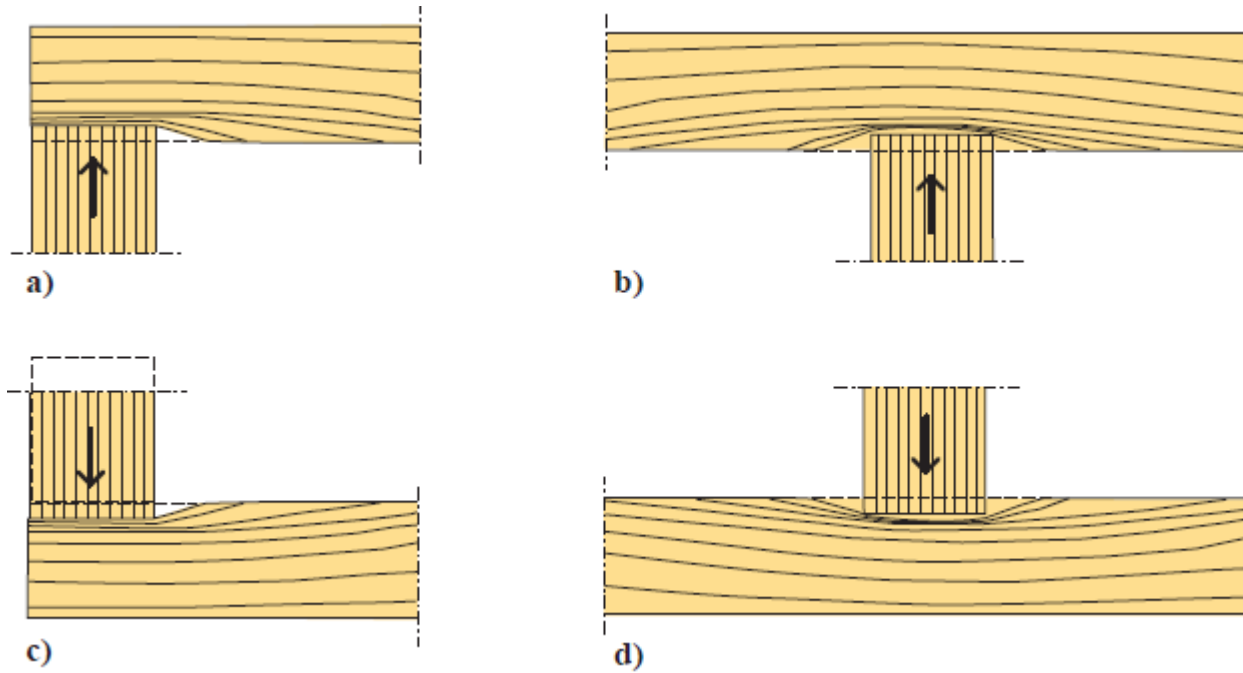


## 2. Comportamento mecânico da madeira

Comportamento à compressão perpendicular (perpendicular ao grão ou às fibras da madeira)



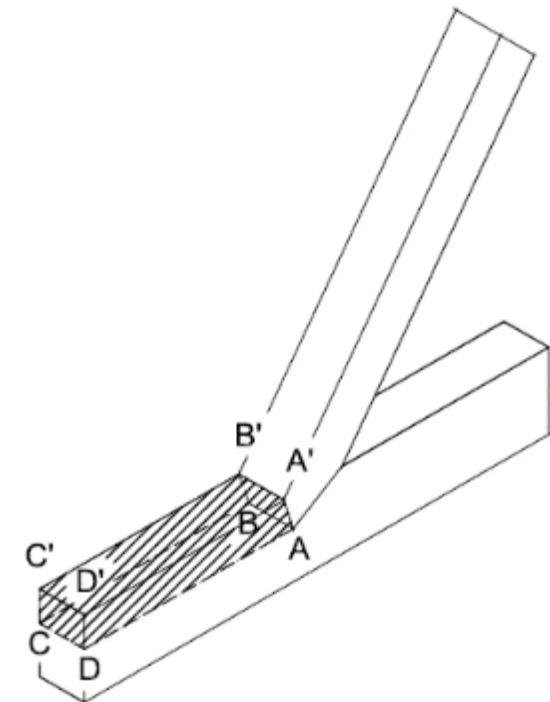
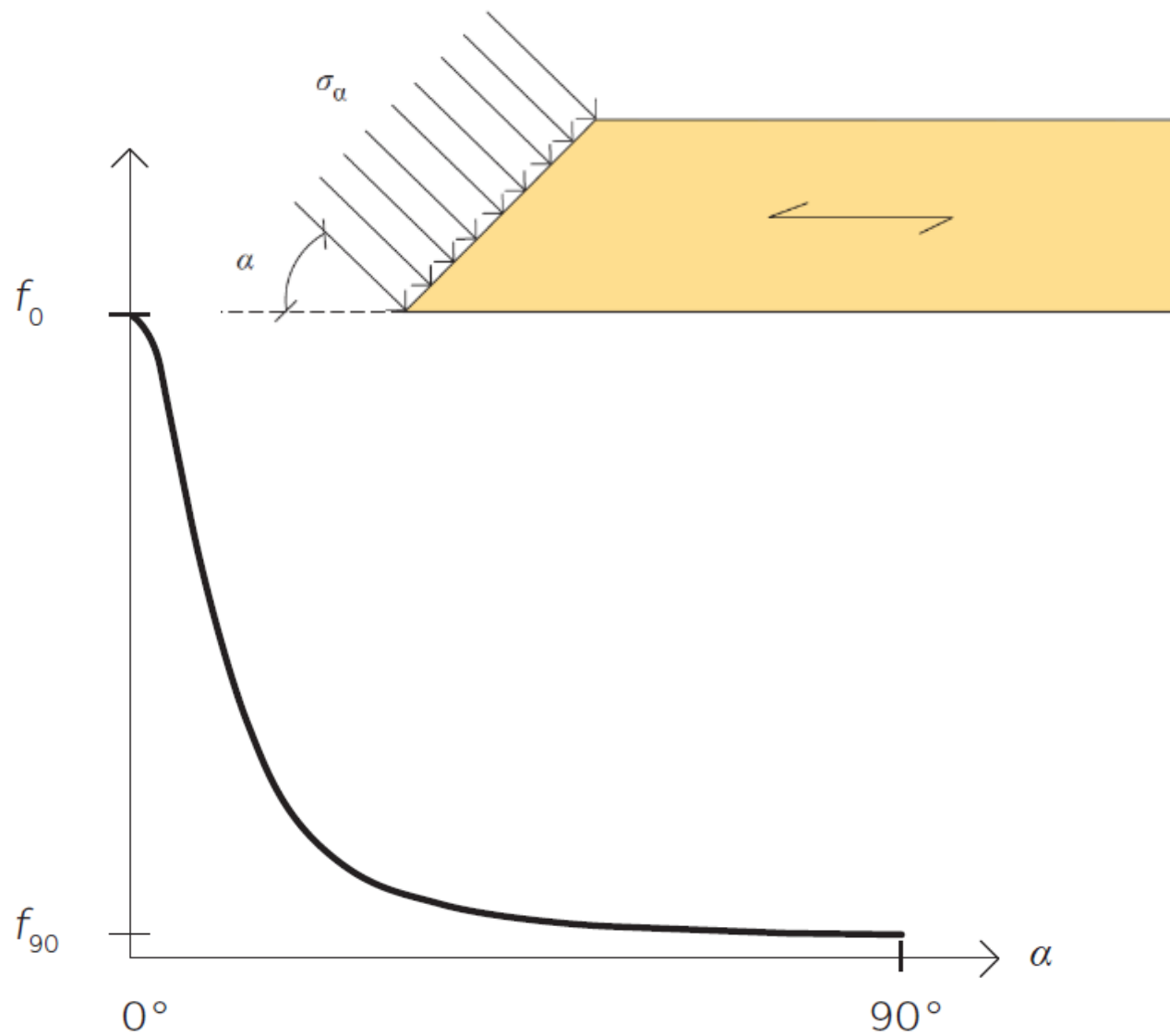
## 2. Comportamento mecânico da madeira



Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.

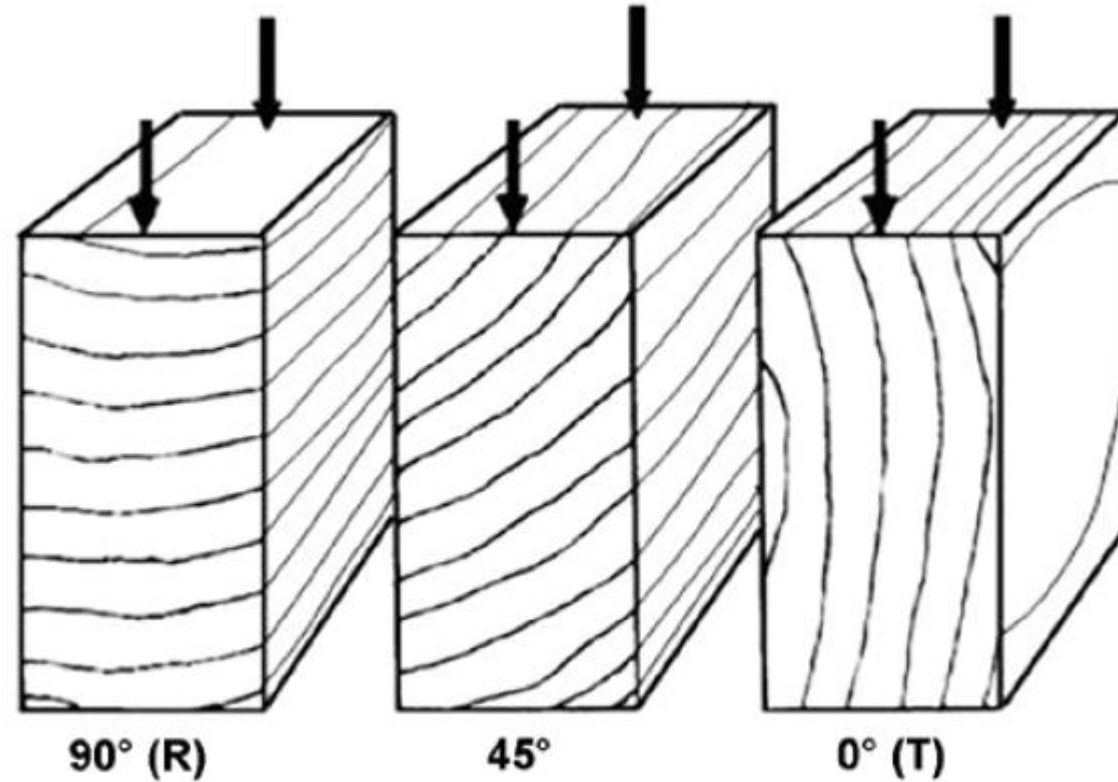


## 2. Comportamento mecânico da madeira



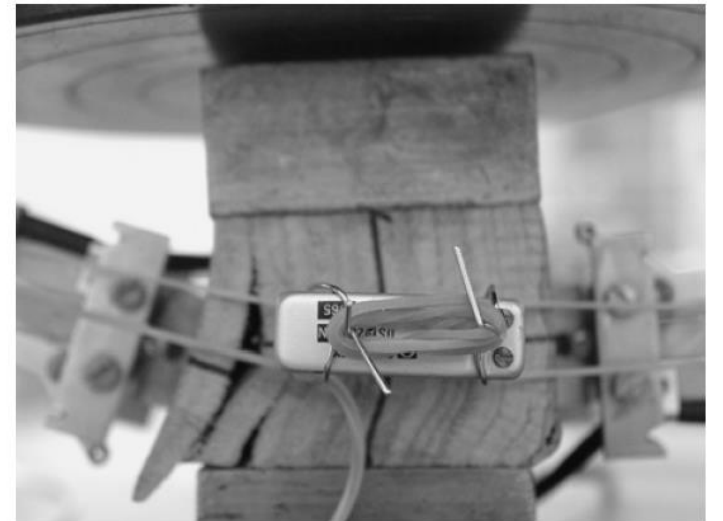
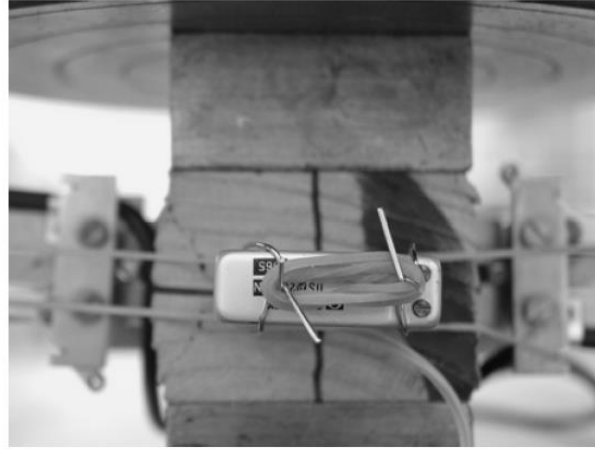
## 2. Comportamento mecânico da madeira

O efeito da orientação dos anéis face a esforços perpendiculares



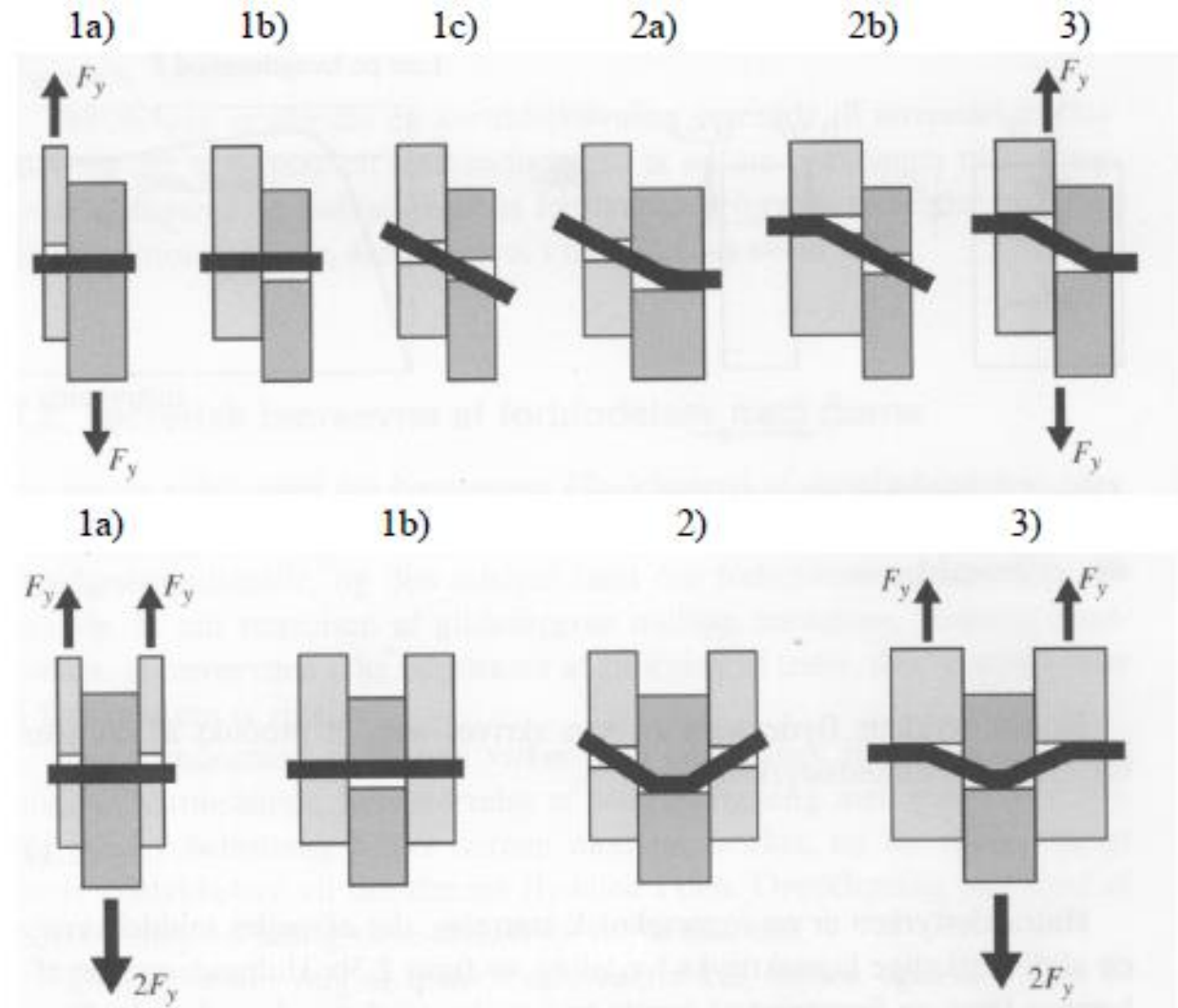
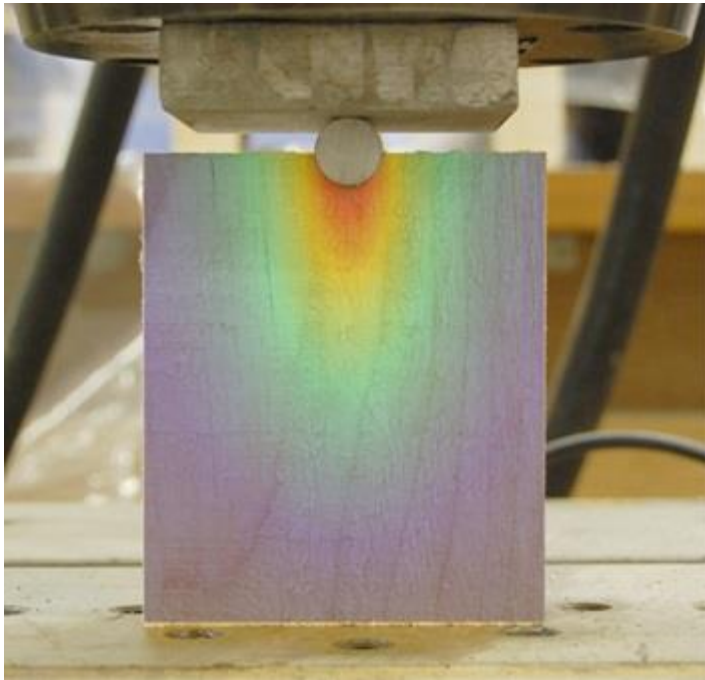
## 2. Comportamento mecânico da madeira

### O efeito da orientação dos anéis face a esforços perpendiculares



## 2. Comportamento mecânico da madeira

### Comportamento ao esmagamento localizado



Fonte: Design of timber structures - Structural aspects of timber construction. Vol. 1. Swedish Forest Industries Federation.



Construção após o sismo de Áquila de 2009