



*Bem utilizar madeiras portuguesas
na construção / reabilitação*

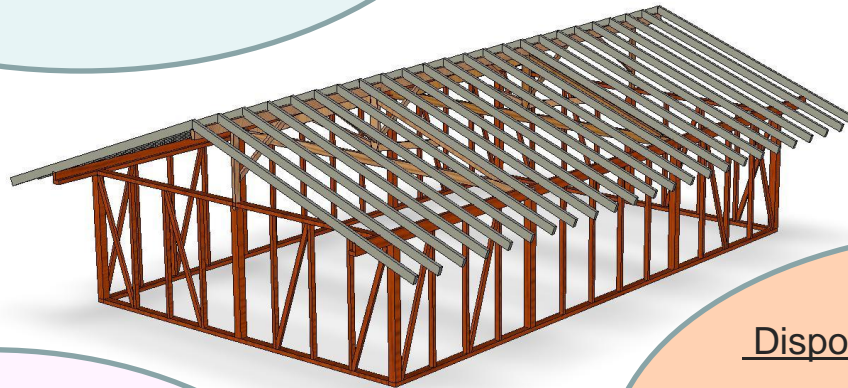
José António Santos
M. Carlota Duarte
Joana M. Santos
Luís Pestana

Sumário da apresentação

- Que espécies temos
- Em que é utilizada a madeira na construção
- Propriedades pretendidas
- Características mecânicas
- Transformação da madeira
- Futuro da utilização da madeira

Propriedades pretendidas:

- ❖ Material leve e resistente
- ❖ Material estável e durável
- ❖ Material fácil de trabalhar
- ❖ Preço acessível
- ❖ Esteticamente atraente



Utilizações:

- Revestimento de piso e de parede
- Desempenho estrutural
- Carpintarias
- Decorativo / isolamento

Disponibilidade em Portugal:

- Pinho bravo
- Eucalipto
- Carvalho

Evolução Temporal da Área por Espécie

Inventário

(x 1000 ha)



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



Espécies	1963-66	1968-80	1980-89	1990-92	1995-98	2005-06
Pinheiro-bravo	1288	1293	1252	1047	976	971 (172)
Eucalipto	99	214	386	529	672	743 (119)
Sobreiro *	637	657	664	687	713	643 (28)
Azinheira	579	536	465	-	462	460 (4)
Pinheiro-manso	-	35	50	-	78	118 (2)
Out. Resinosas	-	35	33	-	27	35 (4)
Carvalhos	-	71	112	-	131	163 (15)
Castanheiro *	-	29	31	-	41	20 (1)
Out. Folhosas	-	148	115	-	102	87 (11)

* Área subestimada por ainda não considerar novas arborizações

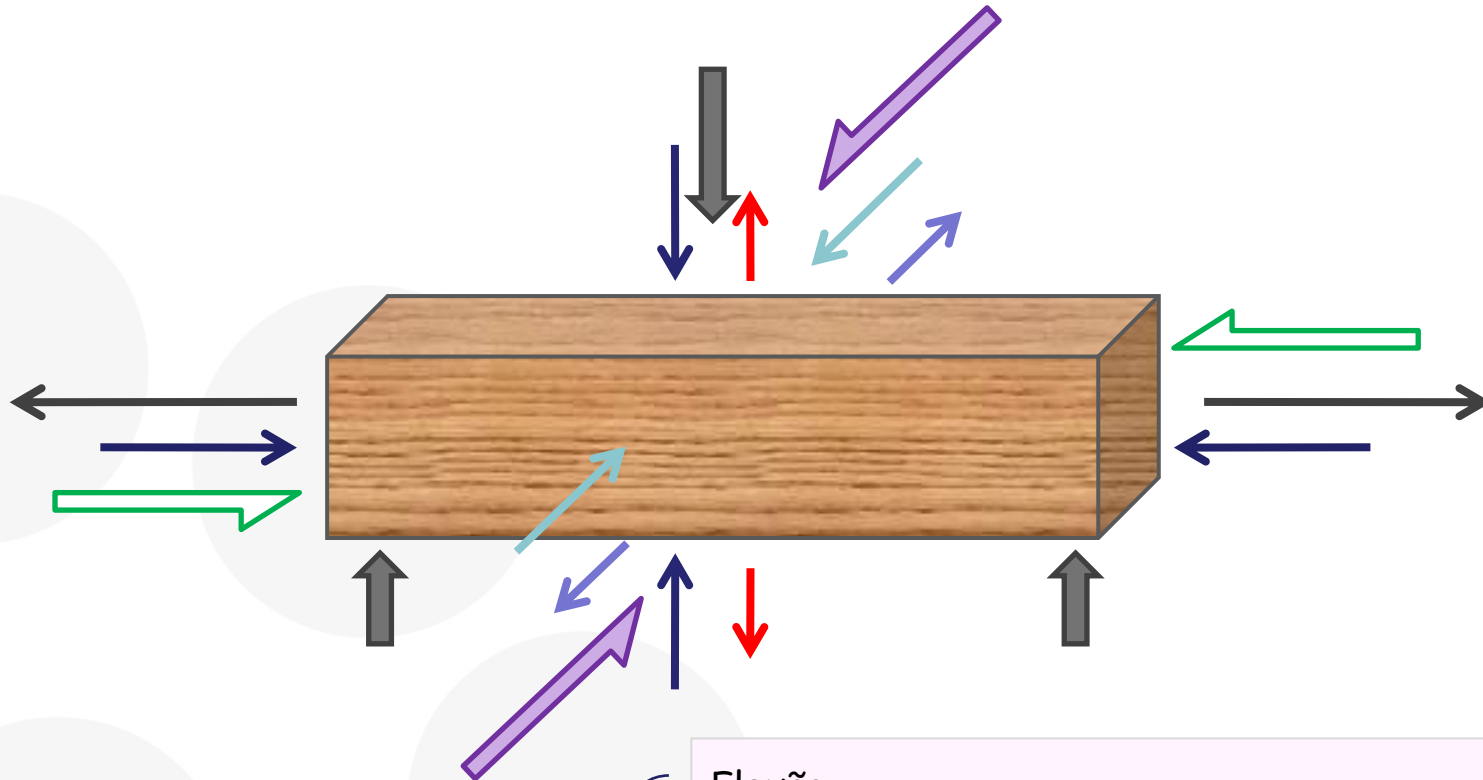
() Área de povoamentos ardidos

Tempo de formação de várias espécies até dimensão com interesse comercial para serração

**Para atingir diâmetro de serração
≥ 35 cm de diâmetro**

- **Carvalho** ≈ 65 anos
- **Pinheiro bravo** ≈ 45 anos
- **Eucalipto comum** ≈ 25 anos

Características mecânicas orientadas da madeira



Tensões de rotura /
módulos elasticidade /
módulo de corte /
Coeficientes de Poisson

Flexão

Tracção paralela / transversal

Compressão paralela / transversal

Corte paralelo / transversal

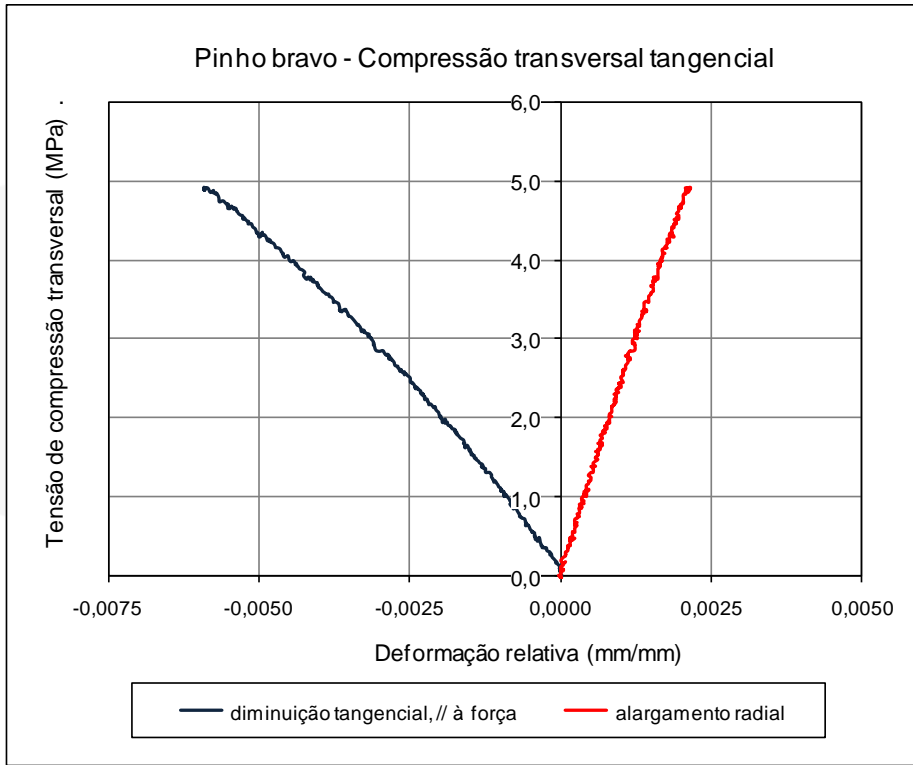
Elasticidade : flexão / compressão

paralela / transversal

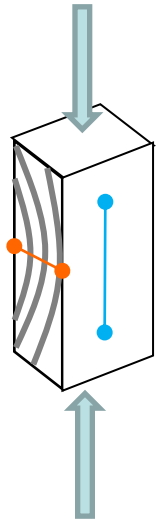
- Constantes elásticas (12)

Módulo de elasticidade na direcção paralela às fibras E_0	Módulo de elasticidade na direcção tangencial $E_{90,tang.}$	Módulo de elasticidade na direcção radial $E_{90,rad.}$
Módulo de corte $G_{axial / tang.}$	Módulo de corte $G_{axial / rad.}$	Módulo de corte $G_{tang / rad.}$
Coefficiente de Poisson $CP_{tang./ axial}$	Coefficiente de Poisson $CP_{rad. / axial}$	Coefficiente de Poisson $CP_{tang./ rad.}$
Coefficiente de Poisson $CP_{axial / tang.}$	Coefficiente de Poisson $CP_{axial / rad.}$	Coefficiente de Poisson $CP_{rad./ tang.}$

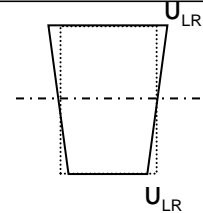
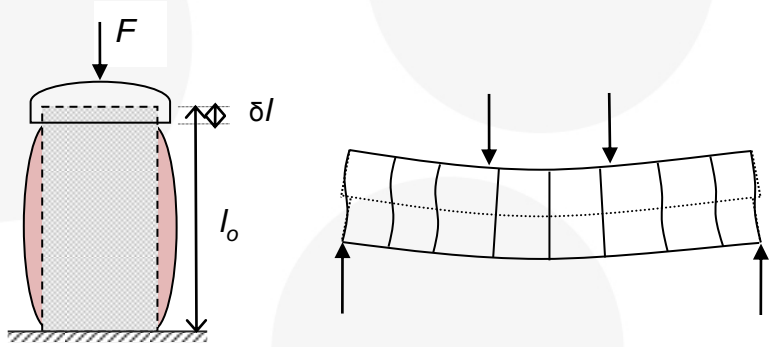
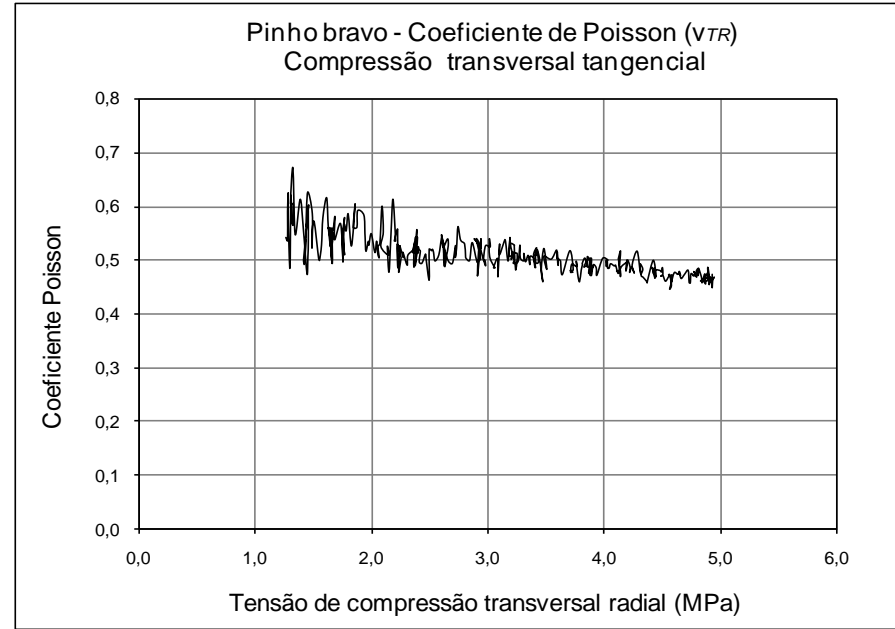
Coeficiente de Poisson



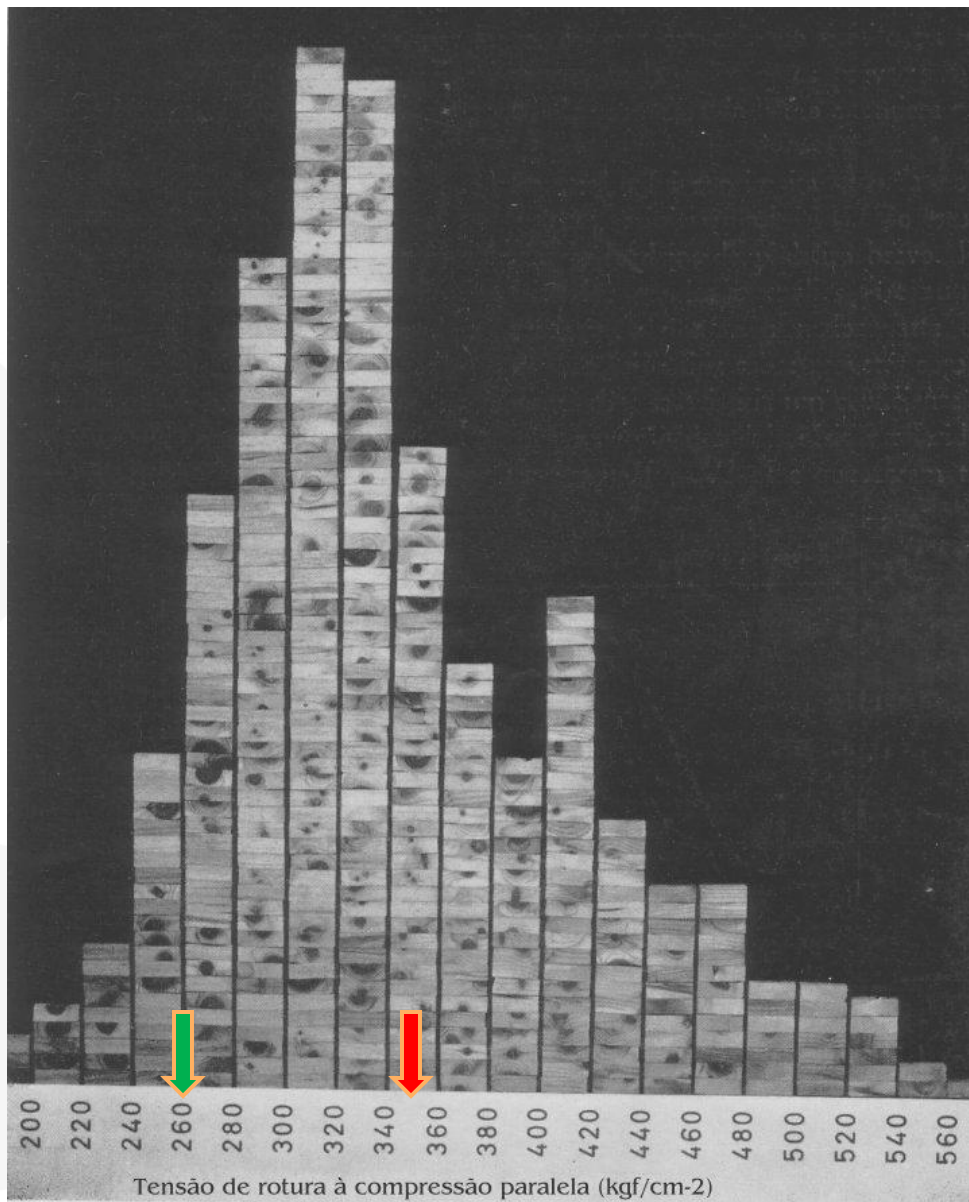
Compressão transversal do pinho bravo



$$\frac{|\Delta \text{linha vermelha}|}{|\Delta \text{linha azul}|} = \nu_{TR}$$



*Resultados globais dos ensaios
mecânicos*



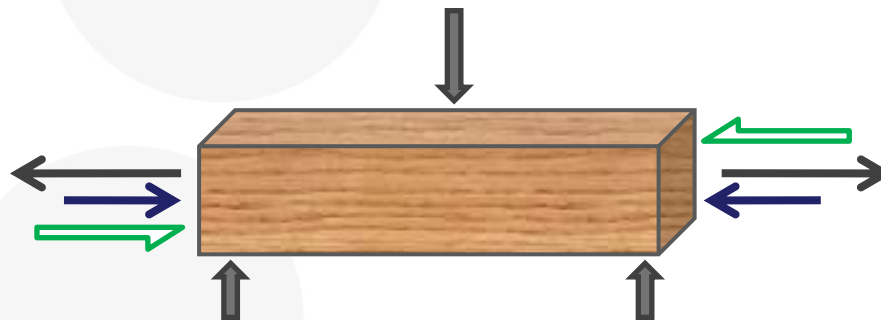
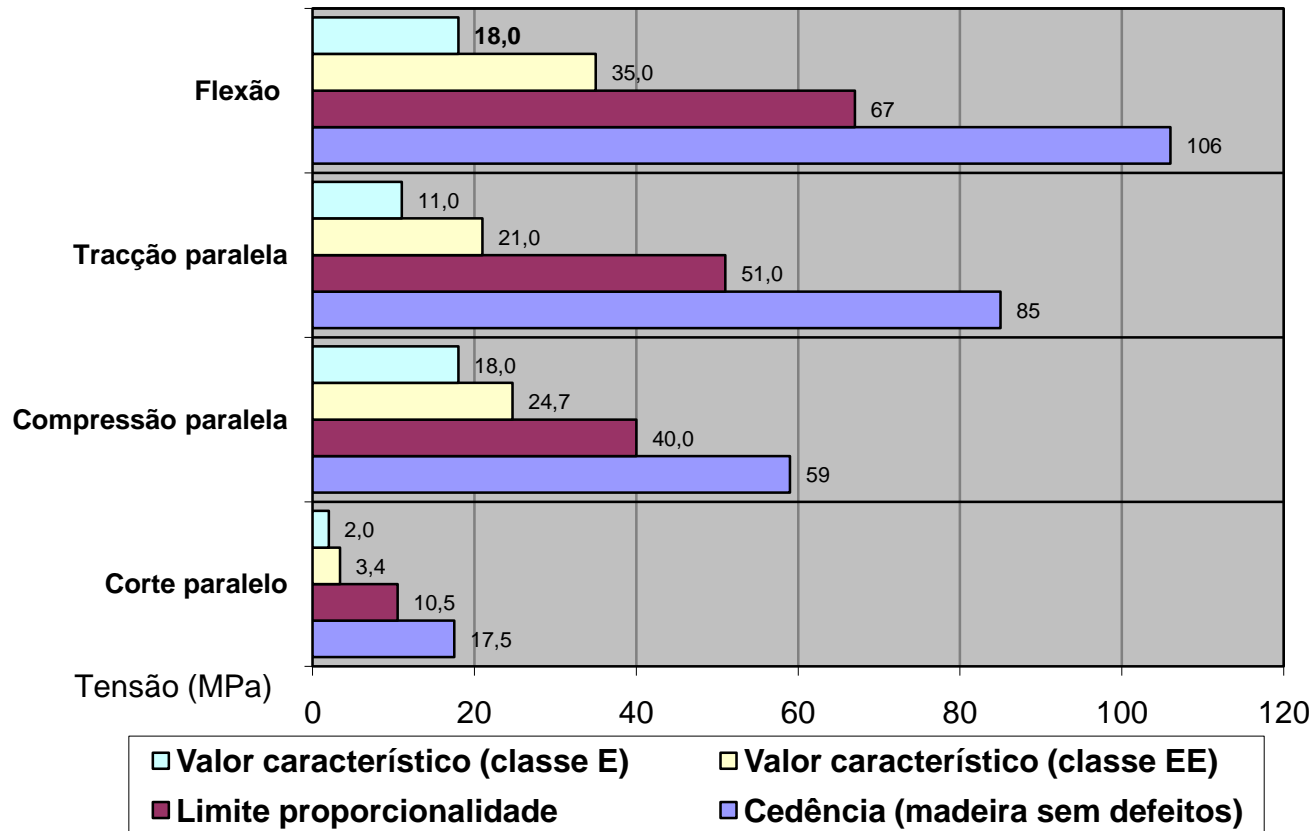
Dos 430 provetes,
a média é de
353 kgf/cm²,

Mas o valor
característico é de
260 kgf/cm².

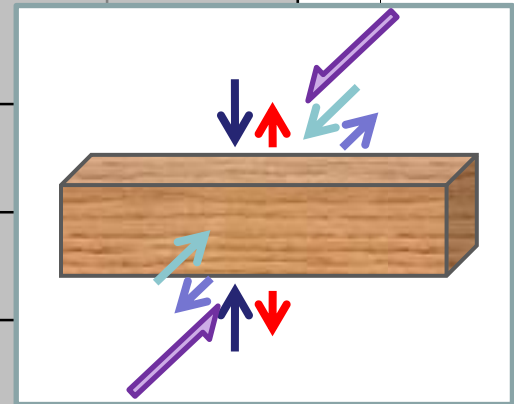
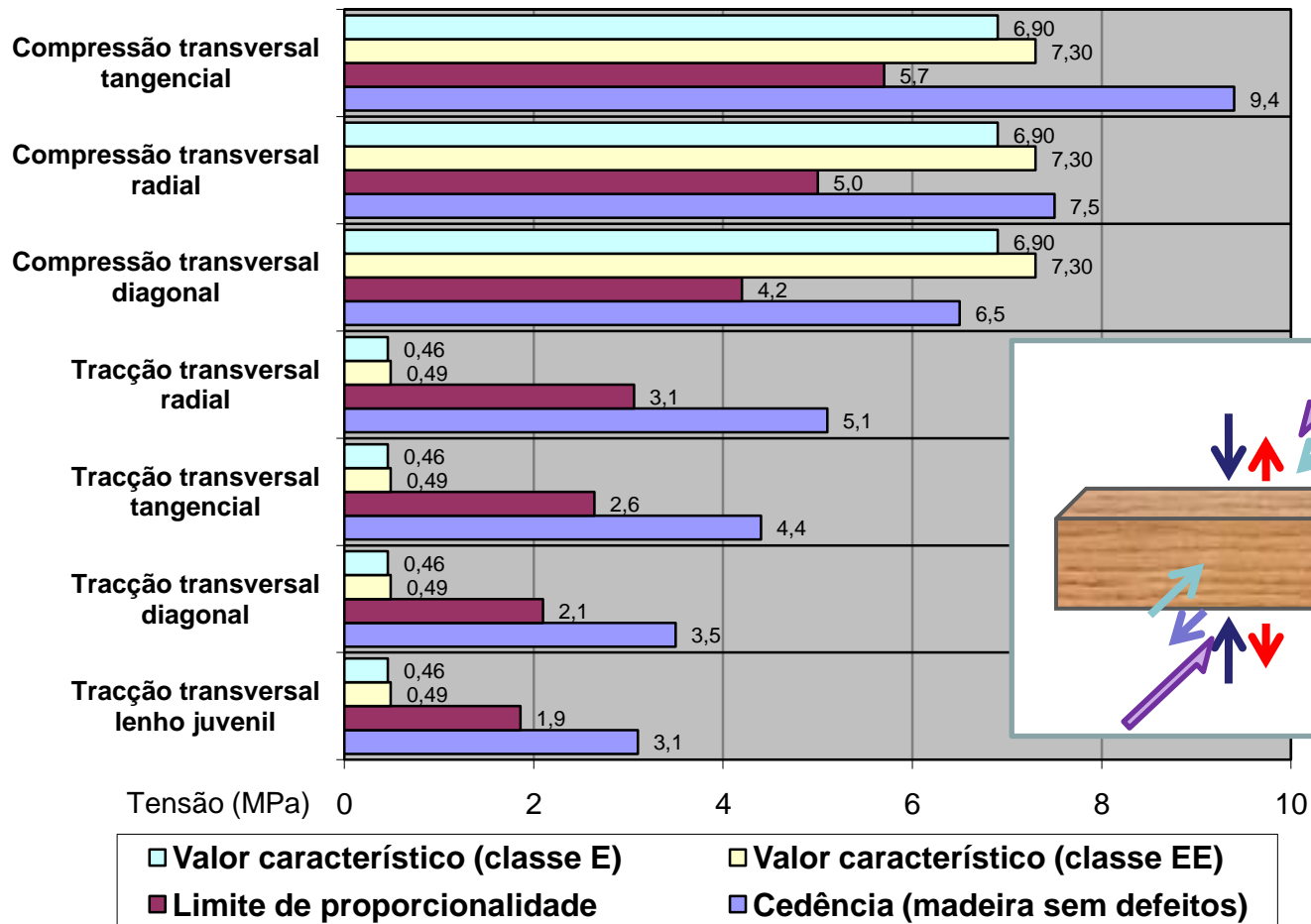
Só 16 provetes
(5 %) têm valor
inferior a
260 kgf/cm².

Fonte: Histograma do estudo de Tomás Mateus, “Bases para o dimensionamento para estruturas de madeira”

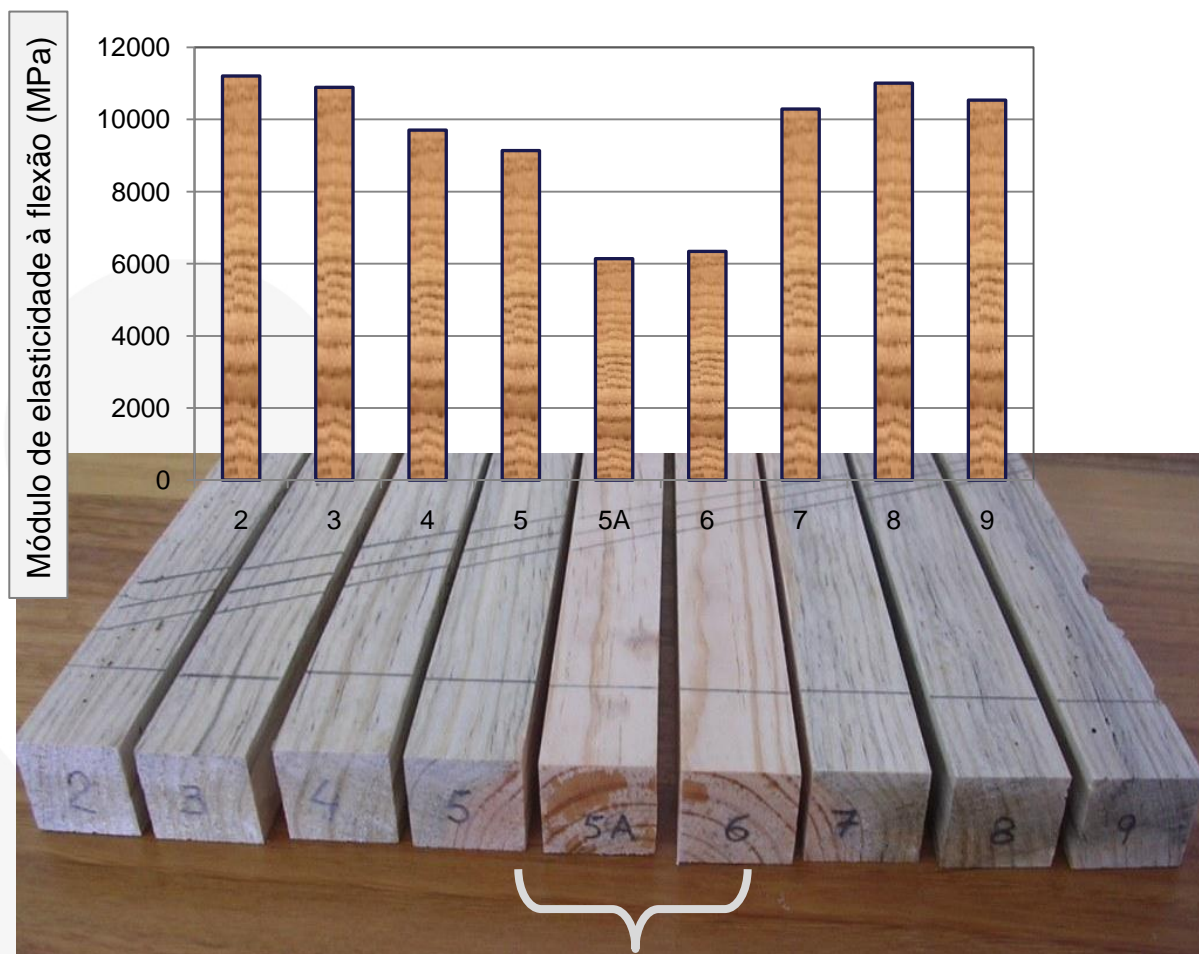
Tensões máximas propriedades axiais - Pinho Bravo



Propriedades mecânicas transversais - Pinho Bravo

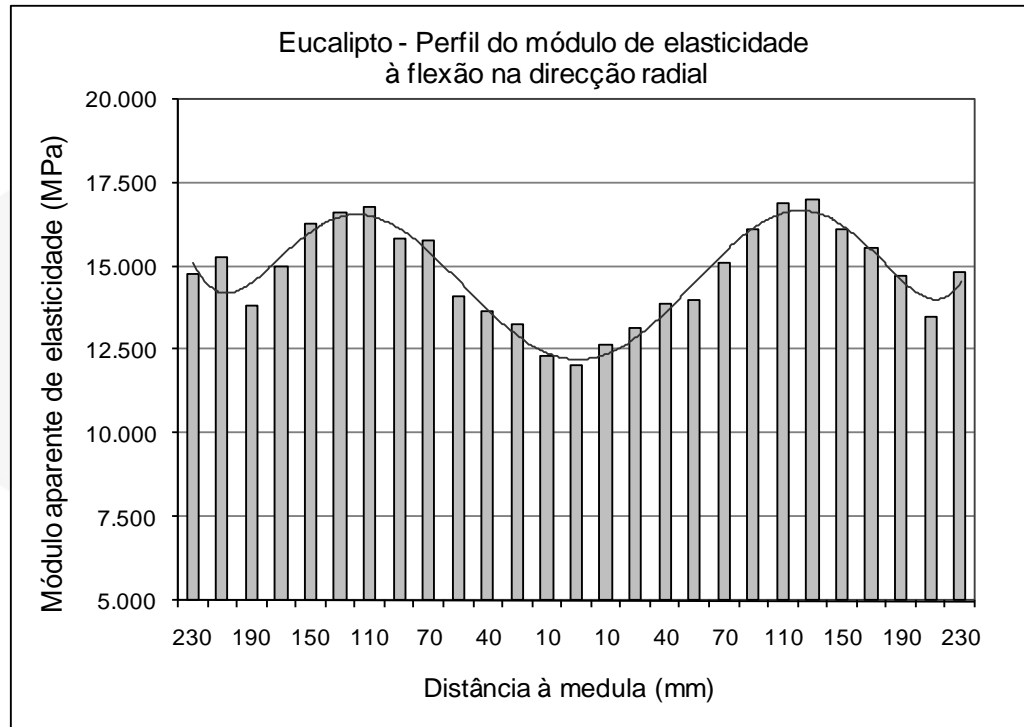


Variação de rigidez numa direcção radial – pinho bravo



Lenho juvenil

Variação de rigidez numa direcção radial – eucalipto



Lenho juvenil

- Eucalipto para estruturas

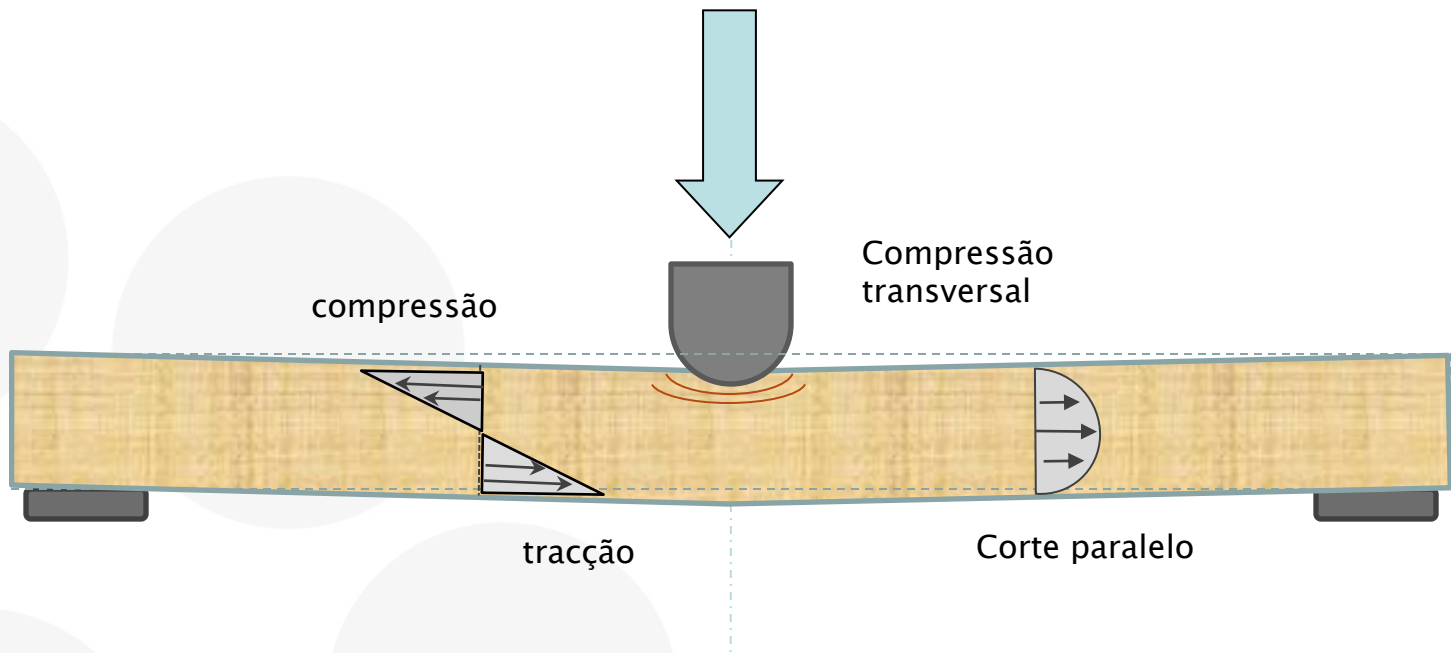
Norma EN 1912:2004 + A2:2008 Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies.

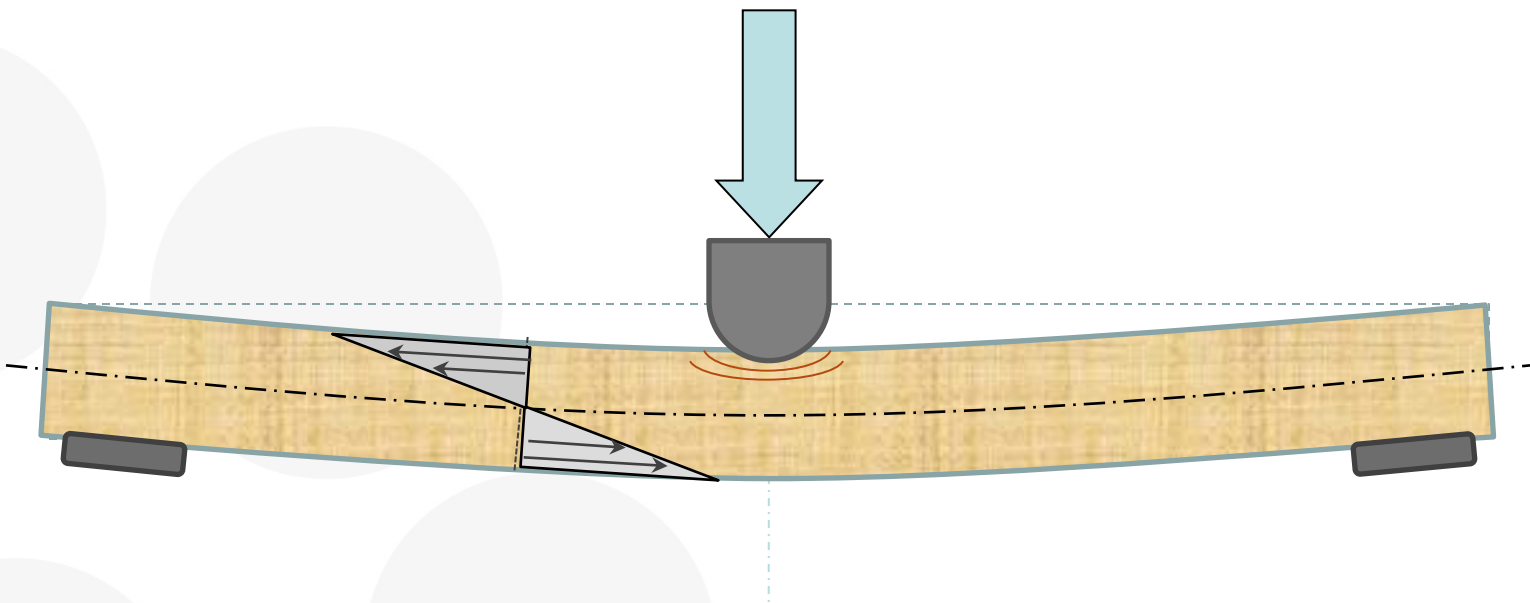
Passou a ser incluído no anexo A2, a madeira de eucalipto de Espanha (globulus), como madeira para estruturas.

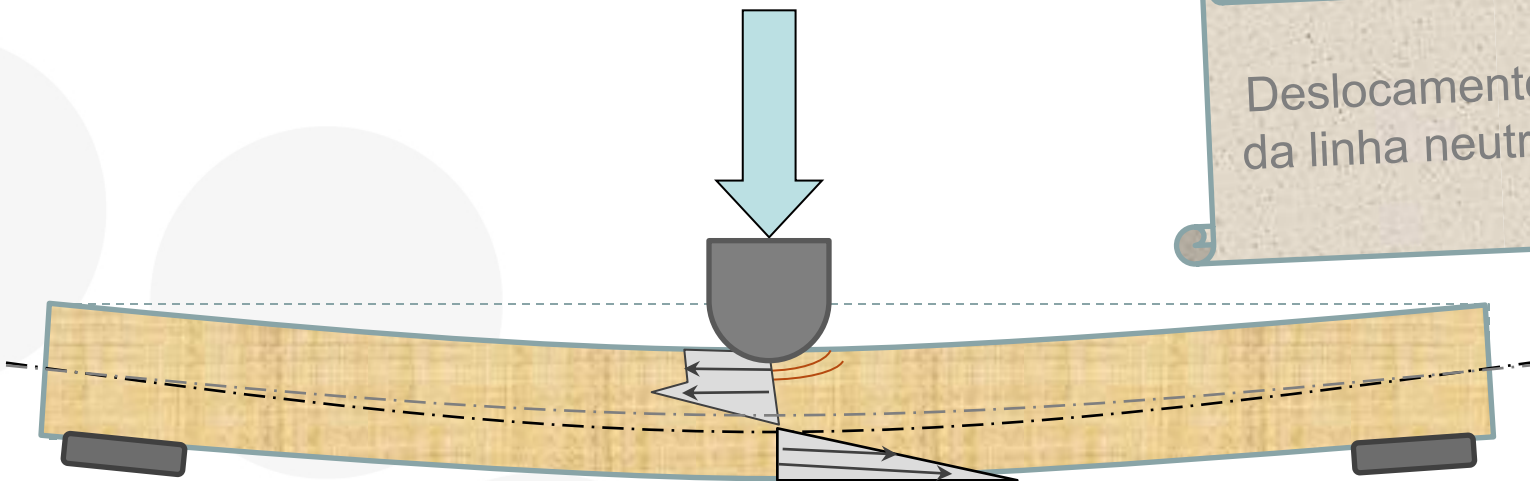
Características mecânicas EN 338 (valores característicos para cálculo estrutural)

(Unidades MPa) Classes EN 338:2003	Eucalipto Classe D40	Pinho bravo Classe C18	Abeto Classe C14
Compressão paralela fibras	26 (máx. 65)	18 (máx. 60)	16 (máx. 45)
Módulo elasticidade flexão	9 400 (máx. 16 000)	6 000 (máx.12 500)	4 700 (máx.7 000)
Tensão ruptura flexão	40 (máx.125)	18 (máx.105)	14 (máx. 45)
Corte paralelo	3,8 (máx.18)	2 (máx.17,5)	1,7 (máx.)

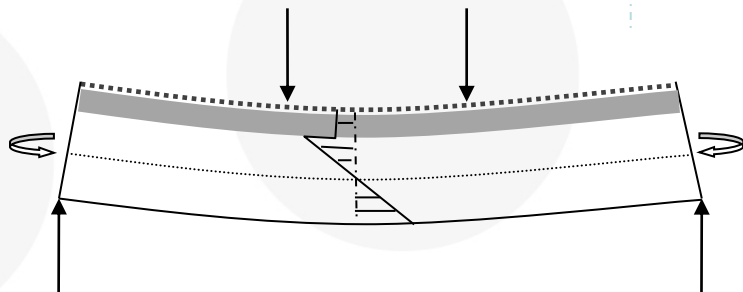
Flexão / modelo

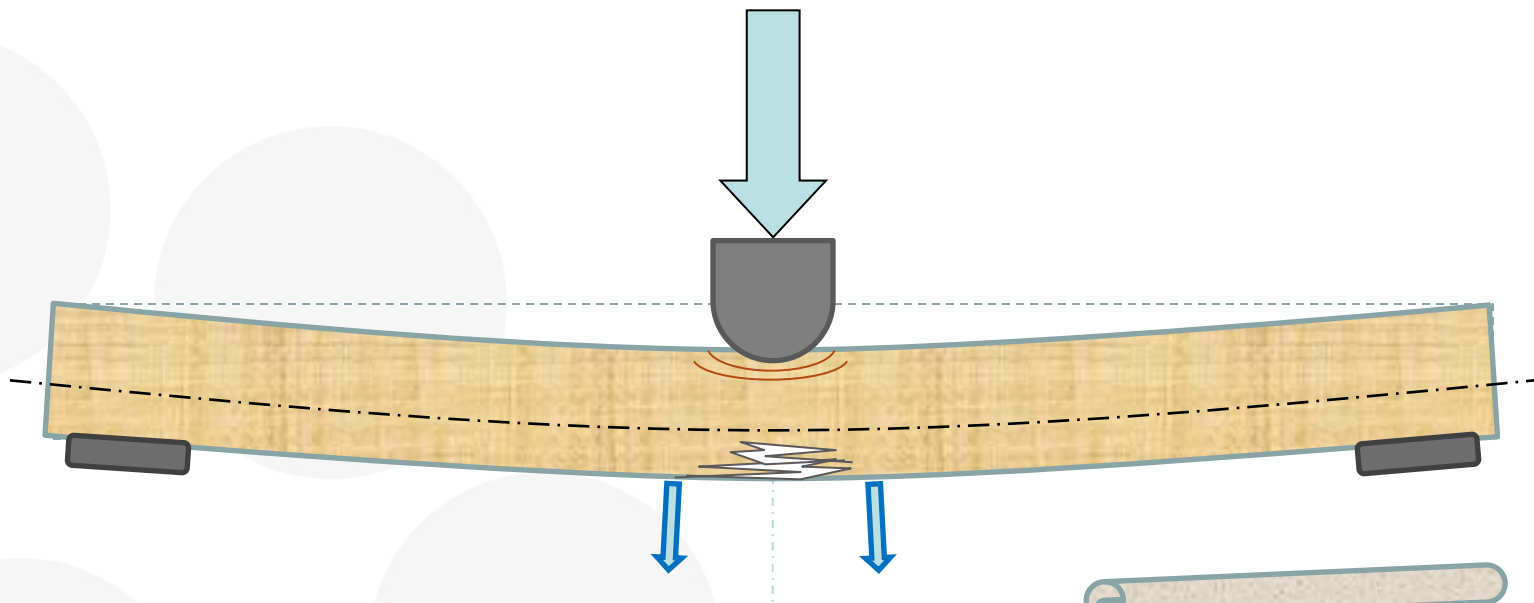




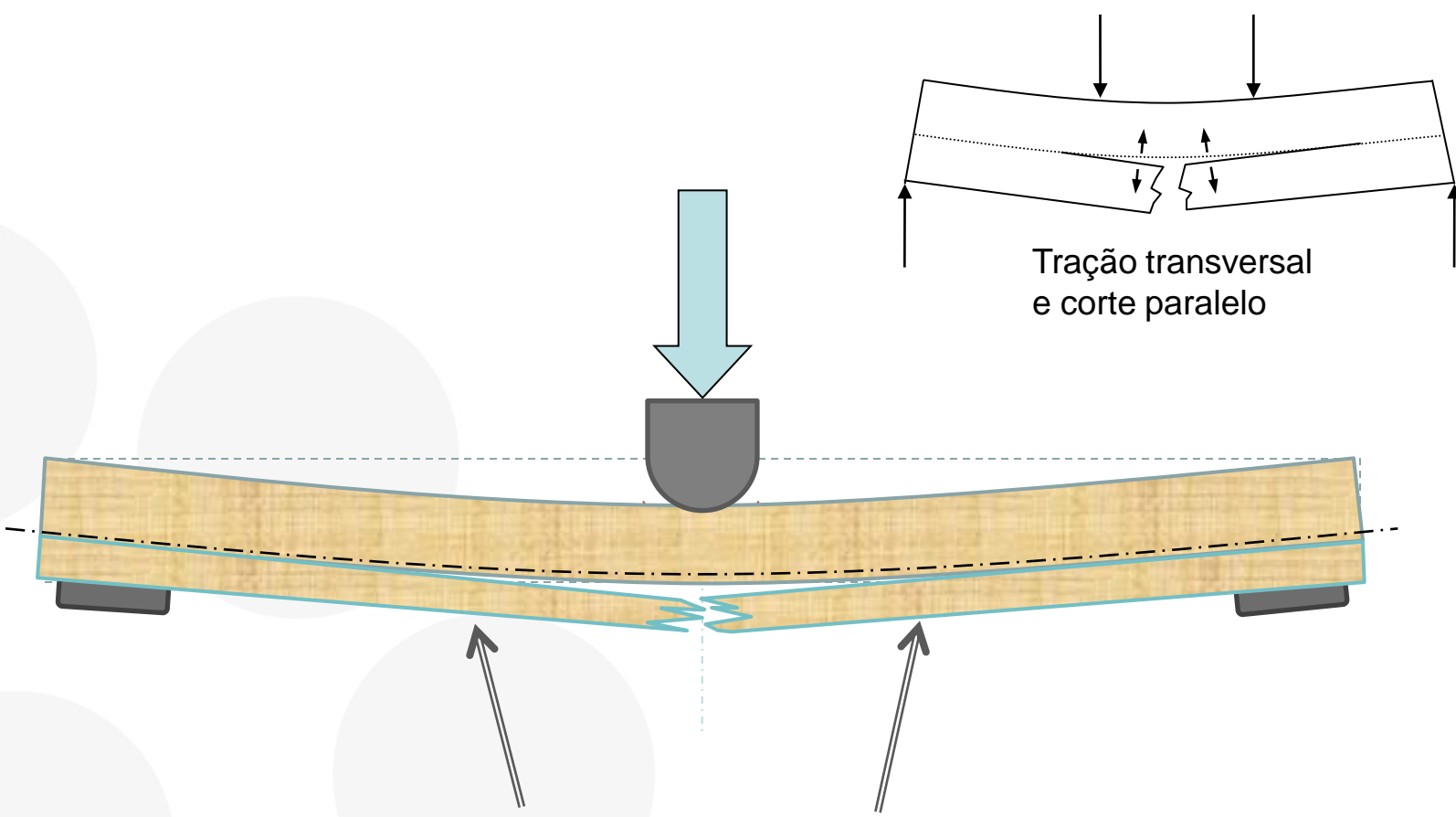


Deslocamento da linha neutra





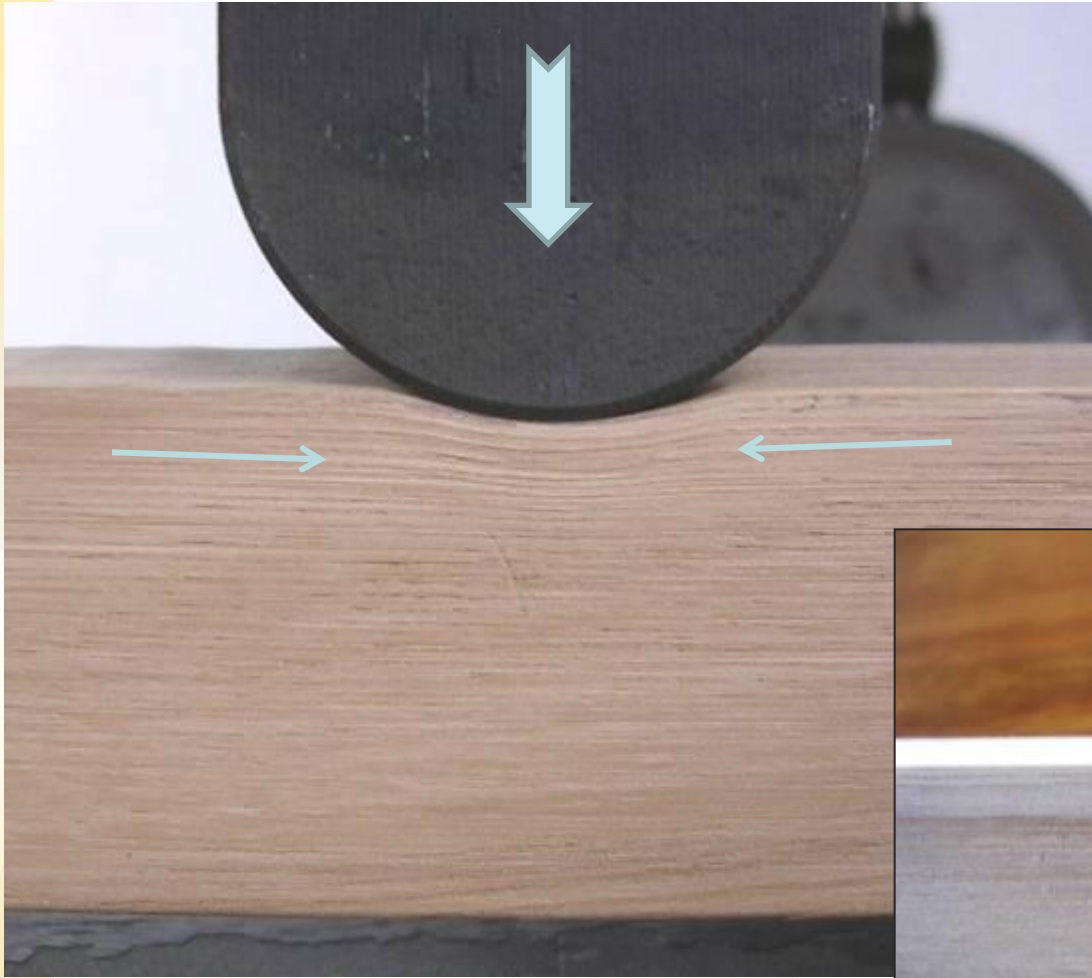
Fractura por
tracção



Tração transversal e corte paralelo

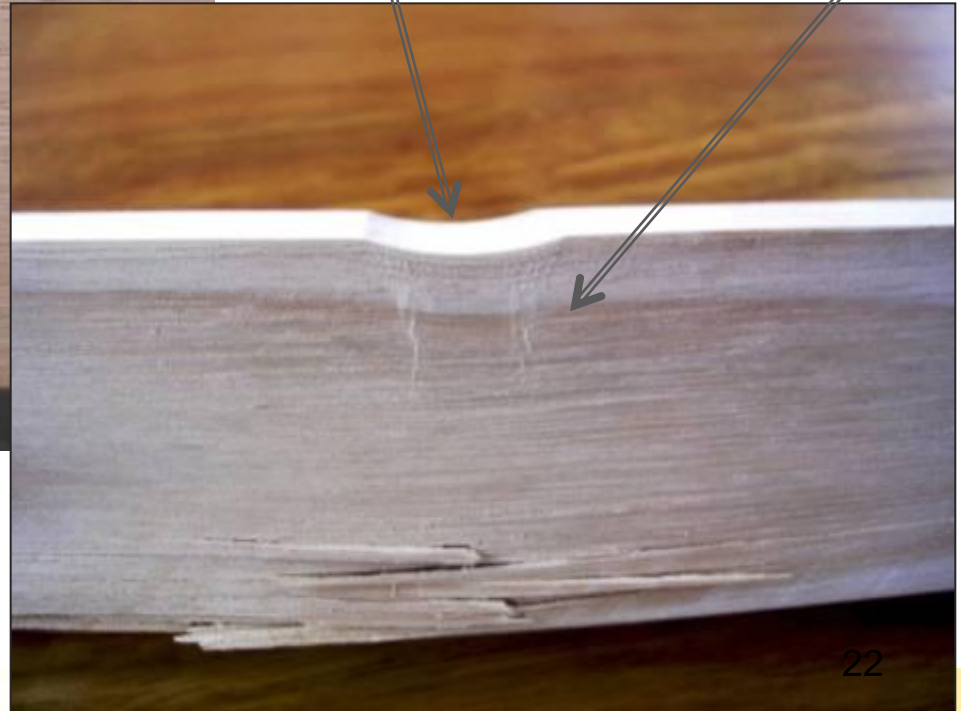
Tendência a ficarem direitas





Esmagamento
compressão
transversal

Esmagamento
compressão
paralela



O que limita o cálculo? → As deformações !

$F = 2 \text{ kN}$

$L = 800 \text{ mm}$

$h = 35 \text{ mm}$

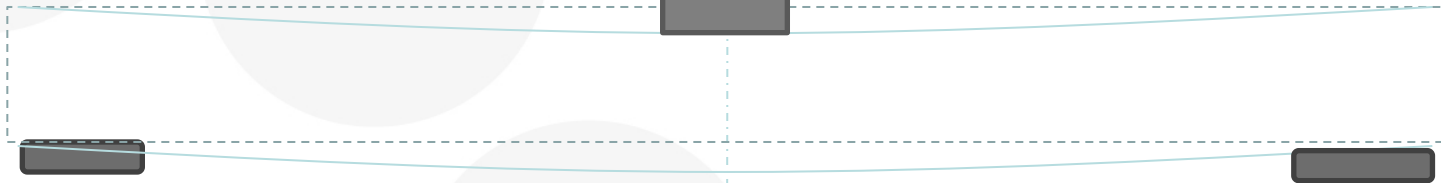
$b = 20 \text{ mm}$

$E = 12\,000 \text{ MPa}$

$a = 20 \times 20 \text{ mm}^2$



Tensão de compressão real – 5 MPa
Tensão máxima - 19 MPa (calçador central)
Mossa de deformação real – 0,26 mm



Tensão de tracção // real – 65 MPa
Tensão máxima – 90 MPa
Flecha real – 25 mm ($L/300 = 2,7 \text{ mm}$)

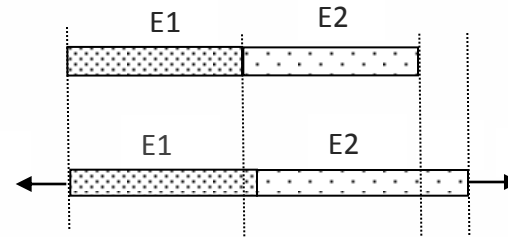
Limite máximo
aceitável por
razões estéticas



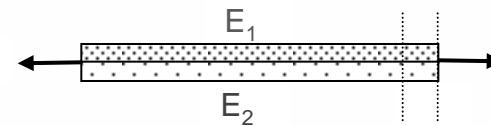
*Tracção transversal
/ modelos*

Madeira como um bi-material

No domínio elástico



E_1 for muito superior a E_2 ,
quase toda a deformação
vem do material E_2 .



$$F_1 = F_{total} \frac{E_1}{E_1 + E_2}$$

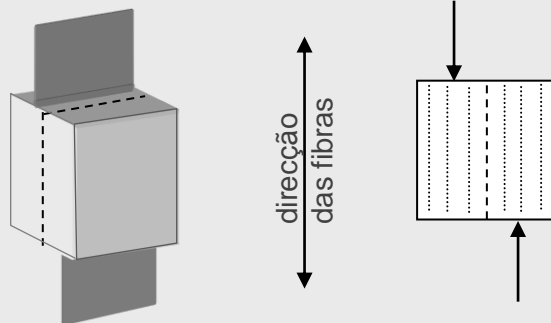
E_1 for muito superior a E_2 ,
o material 1 suporta quase
sozinho a carga total.

Madeira como um bi-material

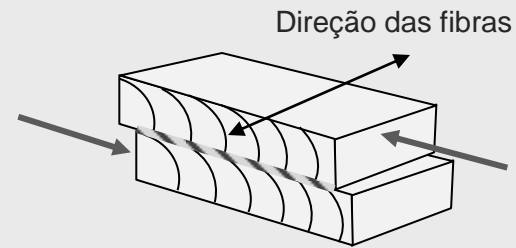


Corte / modelos

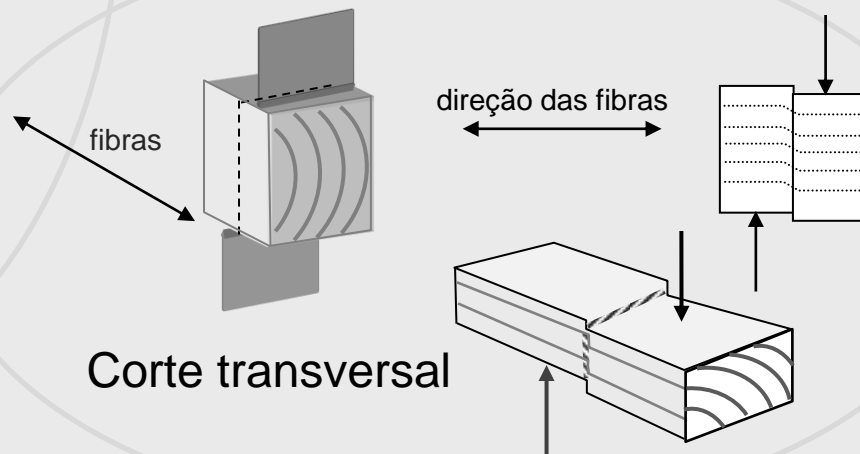
Tensões de corte



Corte paralelo

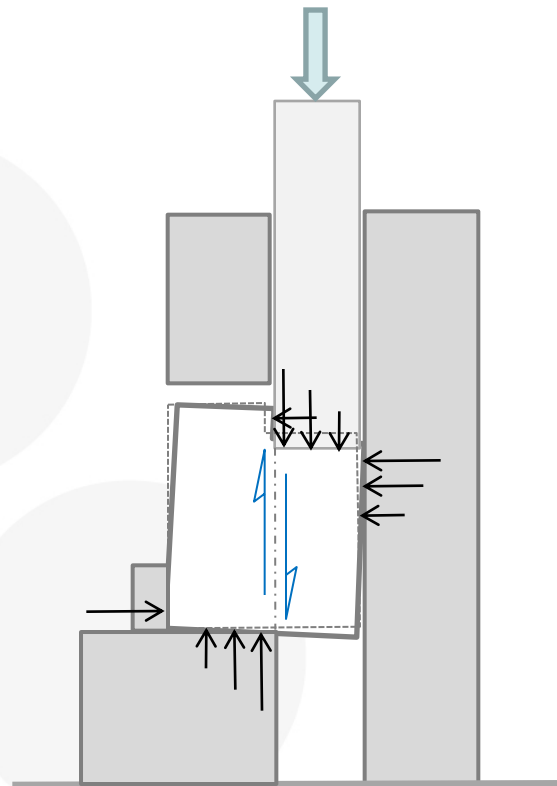


Corte por enrolamento

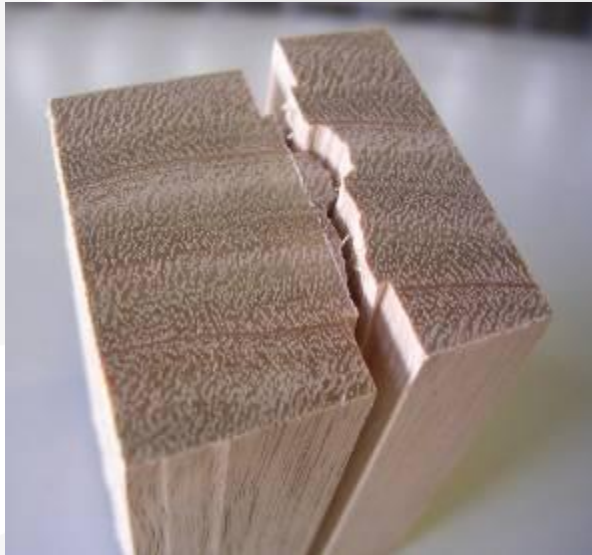


Corte transversal

Corte paralelo !



Novo método de ensaio para determinação das tensões de corte



Corte paralelo



Corte transversal



Corte por enrolamento

Exemplos: análise das superfícies de ruptura

Cedência por corte paralelo

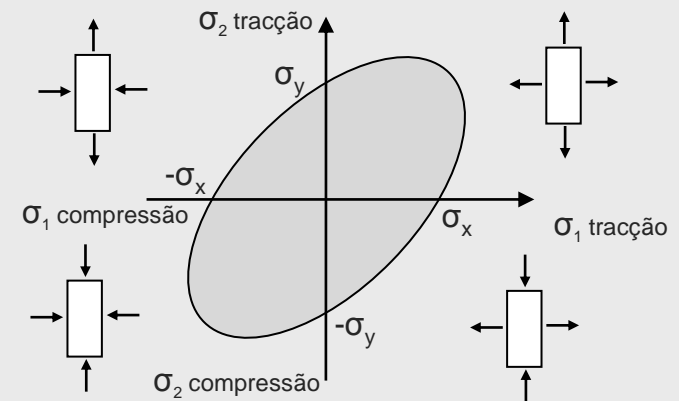
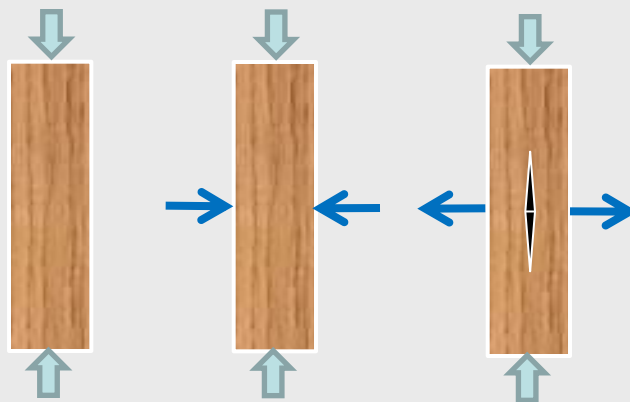


Visível
esmagamento
por compressão



✓ Métodos a análise de falha (combinação esforços):

- Critério de von Mises;

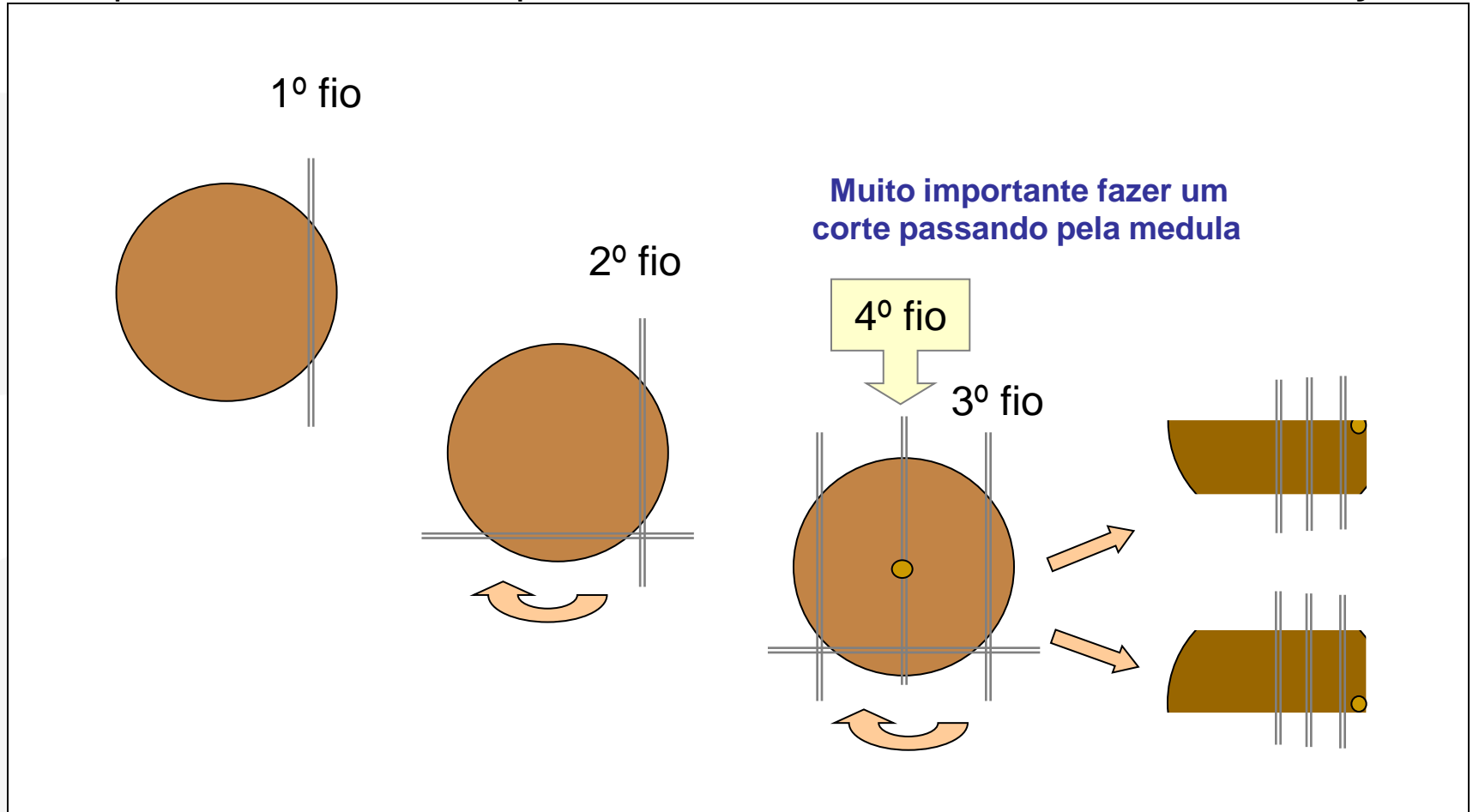


- Critério de Tresca;
- Critério de Tsai–Hill (desenvolvido para materiais compósitos de fibras artificiais, mas que pode dar boa resposta para todos os materiais ortotrópicos orientados).

Transformação industrial

Operação de serragem

Optimização do número de rotações (toros $\varnothing \geq 30$ cm)
para obter a máxima qualidade: maior resistência; e menor deformação

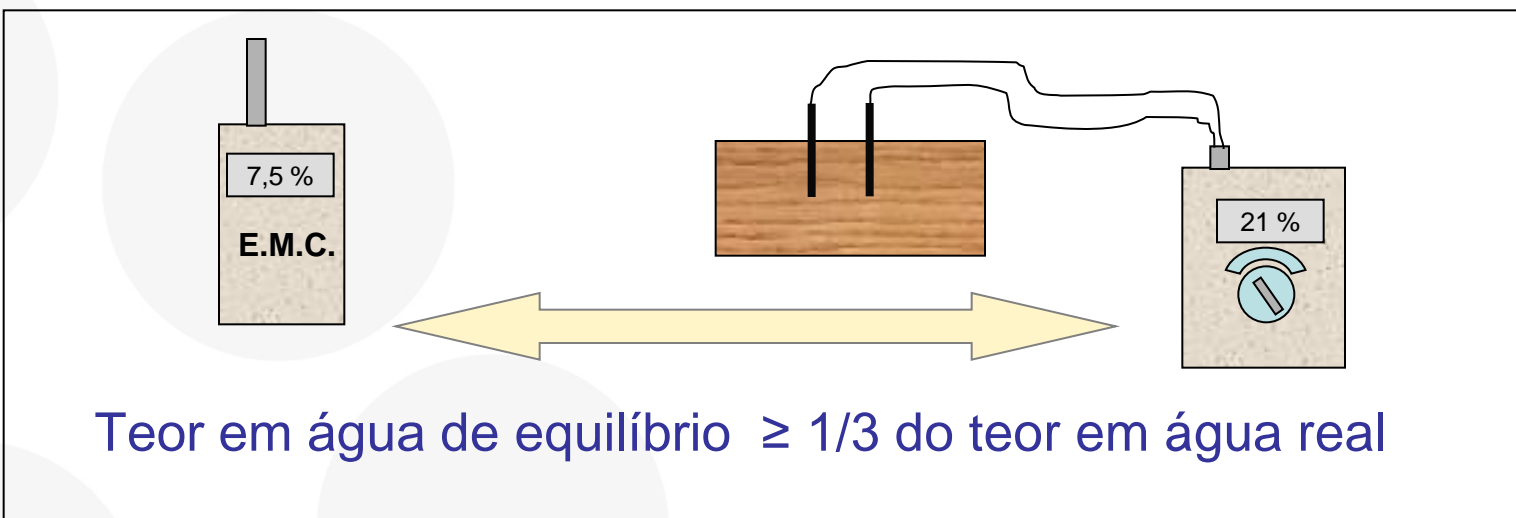




Condução de uma boa secagem

1

Manter uma relação equilibrada entre o teor em água médio da madeira e o teor em água de equilíbrio ambiente (E.M.C.) em todas as fases da evolução da secagem



2

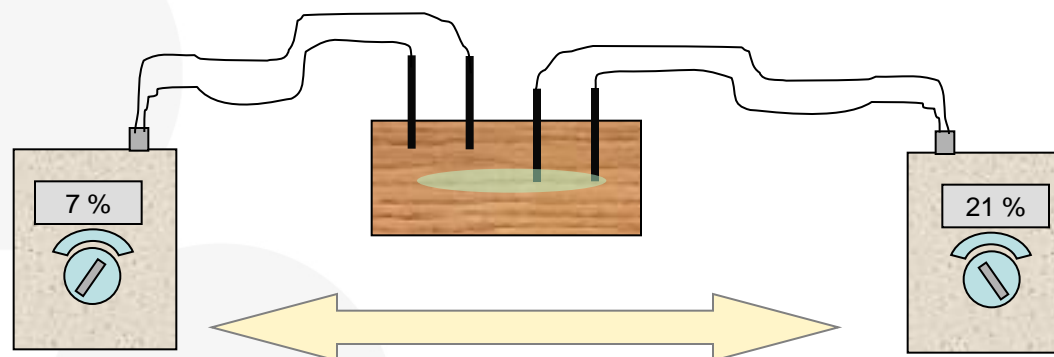
3



Condução de uma boa secagem

2

Manter uma relação equilibrada entre o teor em água médio da madeira na superfície e no teor em água médio no interior em todas as fases da evolução da secagem, mas em particular no seu início.



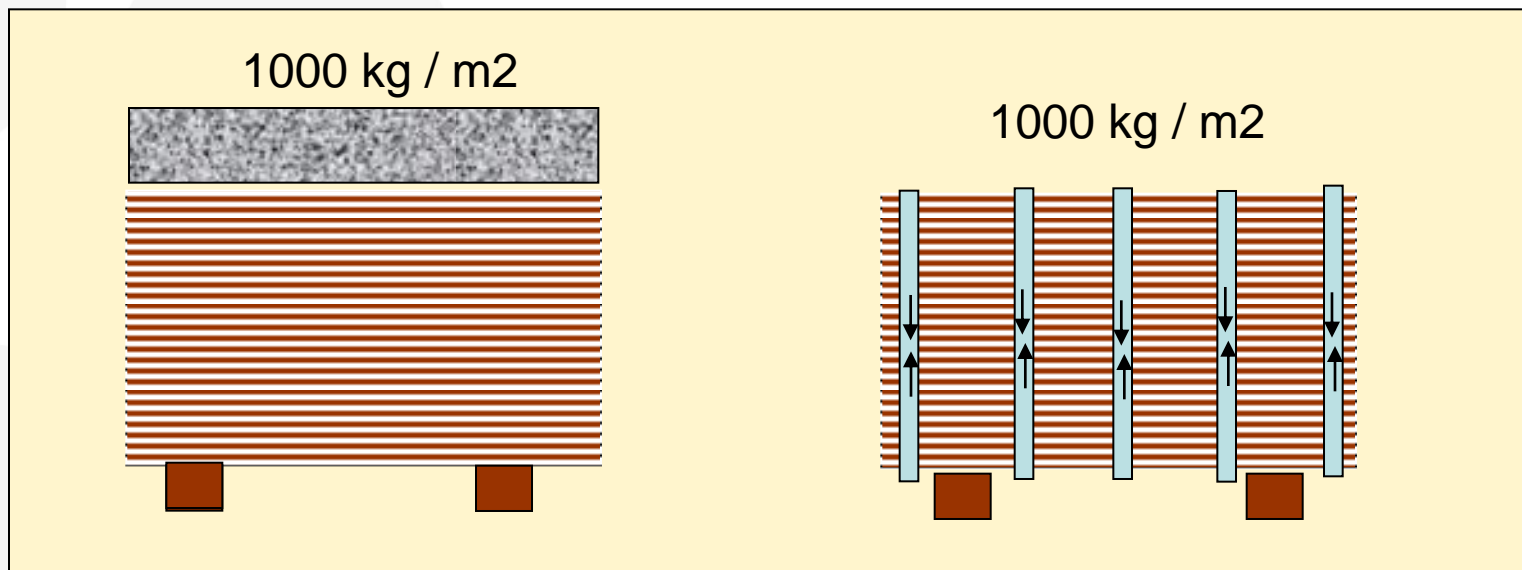
Teor em água na superfície $\geq 1/3$ do teor em água no interior

3

Condução de uma boa secagem

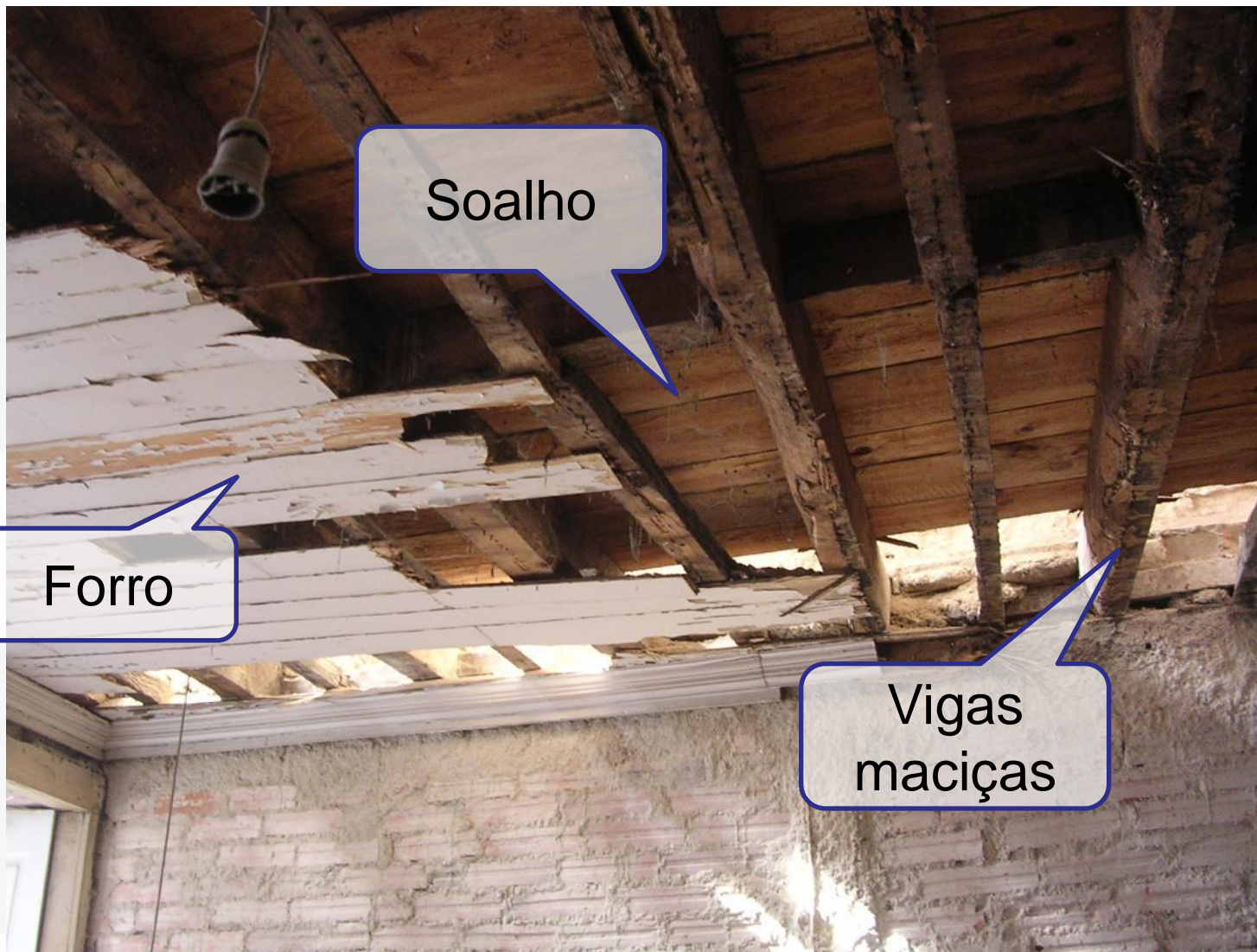
3

Condicionar mecanicamente as pranchas de forma a impedir a sua deformação. Na prática, colocar pesos sobre as pilhas ou condicioná-las com amarramentos ajustáveis.



Reabilitação

Reabilitação



Soalho

Forro

Vigas
maciças

Reabilitação



Paredes de rodízio



Paredes tabique



Sistemas antigos



Encaixe das vigas do piso nas paredes



Detalhe de fixação das vigas às paredes, através de cantoneira de ferro

Cortesia: J.A.Santos
e A. Marques Pinho



Estrutura da cobertura, em lamelado-colado de pinho bravo
Preço de referência 500 a 600€ / m³

Parede divisória autoportante



Eucalipto aplicado em verde numa estrutura de reabilitação

Comparação de estrutura de piso em pinho lamelado colado

Exemplo vão de 6x6 metros

Vigas madeira	Altura (cm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Peso (Kg)
	22	11	600	94,38
Espaçamento entre eixos de vigas			40	cm
Número de vigas			15	
Peso total da estrutura			1415,7	kg
Peso por m2			39,3	kg/m2



Preço por m2	42,6	€/m2
--------------	------	------

Vigotas pré-esforçadas e tijolo		
Peso vigotas pré-esforçadas	74	kg/m2
Abobadilha cerâmica	80,2	kg/m2
Espessura betonilha	2	cm
Peso total por m2	154,2	kg/m2

Laje de betão com malha de ferro		
Espessura	7	cm
Espessura betonilha	2	cm
Peso total por m2	315	kg/m2

Custo total laje alvenaria	30	€/m2
----------------------------	----	------



Conclusões

- ❖ O processamento da madeira (padrão de serragem e secagem) têm uma importância fundamental na definição da qualidade estrutural e estabilidade da madeira.
- ❖ Embora a combinação de esforços seja uma realidade com grande importância no cálculo estrutural e madeira, os métodos de análise de falha definidos na mecânica dos materiais para materiais isotrópicos, não dão uma resposta satisfatória para a madeira.
- ❖ As madeiras portuguesas dão uma resposta muito boa e economicamente vantajosa nas obras de reabilitação, nomeadamente com a utilização de componentes colados

Жх Йӱу
Fim ჳ#dჳფ
ჳჳ'ყფ ძჳ Ⴃᵂ
ᲠᲡ

Obrigado pela
vossa atenção