Universidade POSITIVO

Sistemas Estruturais II – Aula 11
Introdução à Madeira

- Generalidades;
- Propriedades Físicas;
- Principais Produtos em Madeira para Construção;
- Noções quanto à Sistemas Estruturais em Madeira;

Prof. Juliano J. Scremin

Universidade POSITIVO

Aula 11 - Seção 1: Generalidades

Introdução

- **Madeira:** material orgânico, de origem vegetal, encontrada em florestas naturais e reflorestamentos;
- Provavelmente o material de construção mais antigo devido a sua disponibilidade na natureza e relativa facilidade de manuseio;
- **Norma:** NBR 7190 / 1997 – Cálculo e execução de estruturas de madeira;
- **Características principais em contraste com o aço:**
  - anisotropia (ortotropia)
  - variabilidade de propriedades (espécies)

Vantagens da Madeira

- **Excelente relação peso próprio / resistência**:

TABELA 1.1 Propriedades de alguns materiais de construção

Material	ρ(t/m^3)	f(MPa)	f/ρ
Madeira a tração	0,5–1,2	30–110	60–90
Madeira a compressão	0,5–1,2	30–60	50–60
Aço a tração	7,85	250	32
Concreto a compressão	2,5	40	16

Nota: ρ = massa específica; f = resistência característica.

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Vantagens da Madeira

- **Ótimo isolamento térmico.**

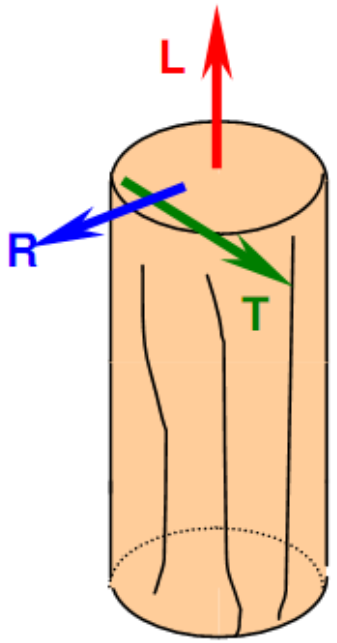
Comparação entre os coeficientes térmicos de alguns materiais conhecidos:

madeira de PINHO-PR :	$0{,}093.\ ^{kcal}/_{m^2.hora.^oC}$ (direção normal às fibras)
	$0{,}170.\ ^{kcal}/_{m^2.hora.^oC}$ (direção paralela às fibras)
material cerâmico :	$0{,}700.\ ^{kcal}/_{m^2.hora.^oC}$
concreto :	$1{,}200.\ ^{kcal}/_{m^2.hora.^oC}$

Fonte: Apostila de Madeira Prof. Miguel Hilgenberg Neto (UFPR)

Desvantagens da Madeira

- **Falta de homogeneidade.**
  - Variação das propriedades mecânicas em relação as direções longitudinal (**L**), radial (**R**) e tangencial (**T**);
  - Variação das propriedades físicas e mecânicas dentro de uma própria espécie;



Fonte: Apostila de Madeira Prof. Miguel Hilgenberg Neto (UFPR)

Desvantagens da Madeira

- **Higroscopia:**
  - Variação dos volumes e das resistências mecânicas conforme a variação do teor de umidade;
- **Durabilidade limitada quando desprotegida:**
  - Ataques de fungos e/ou insetos;
  - Processo de secagem e tratamentos preservativos adequados podem garantir durabilidade de 50 anos ou mais
- **Ocorrência de defeitos:**
  - Nós, fendas, gretas, abaulamento, arqueadura;

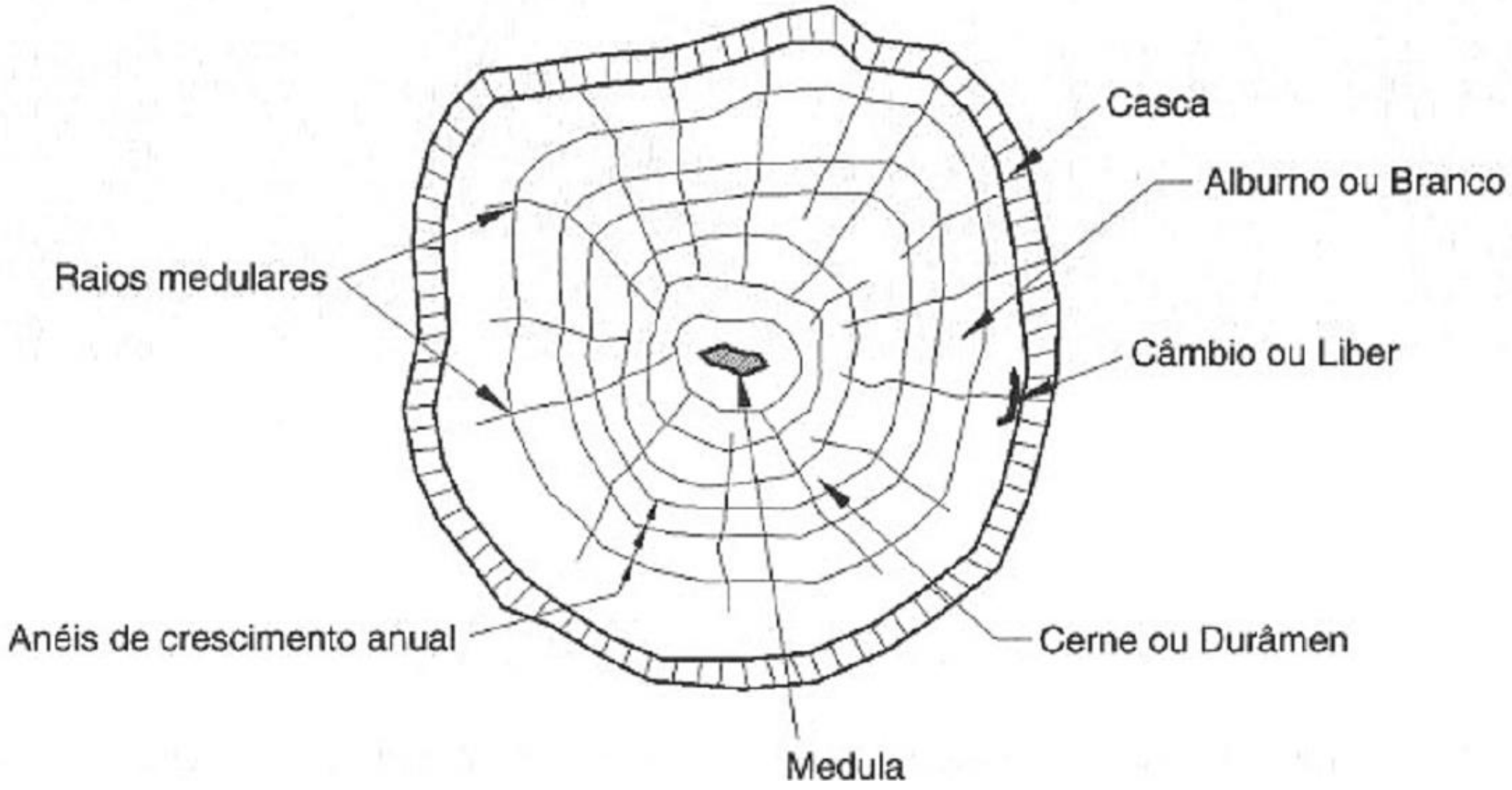
Fonte: Apostila de Madeira Prof. Miguel Hilgenberg Neto (UFPR)

Classificação das Madeiras

- Botanicamente as árvores são classificadas como **“fanerógamas”** (do grego phanerós, aparente; gamos, gâmeta)
- O filo Phanerogamae (fanerógamas) foi dividido em duas classes:
  - **Gimnospermas :**
    - *coníferas (madeira mole)*
  - **Angiospermas :**
    - *monocotiledôneas (palmas e gramíneas)*
    - *dicotiledôneas (madeira dura, madeira de lei)*

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Macroestrutura da Madeira



Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter


BROOKLYN
NEW YORK

Universidade POSITIVO

Aula 11 - Seção 2: Propriedades Físicas

Umidade (1)

- Apresenta uma grande influência na densidade e a secagem sem cuidado causa retração;
- Valor de referência de norma:
  12% (grau de umidade padrão)

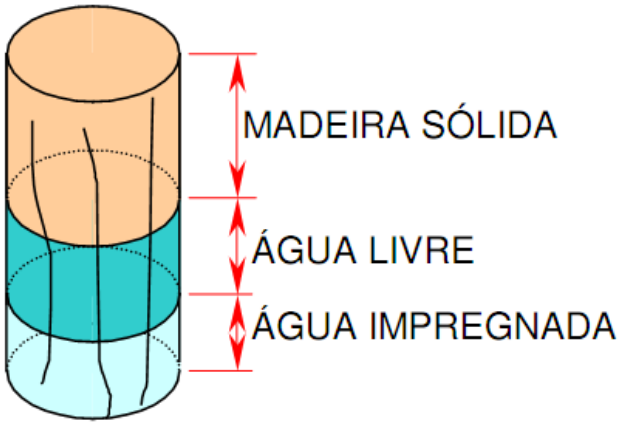
$$U(\%) = \frac{P_i - P_s}{P_s} 100$$

$\mathbf{P_i}$: peso inicial da madeira
$\mathbf{P_s}$: peso da madeira seca em estufa

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Umidade (2)

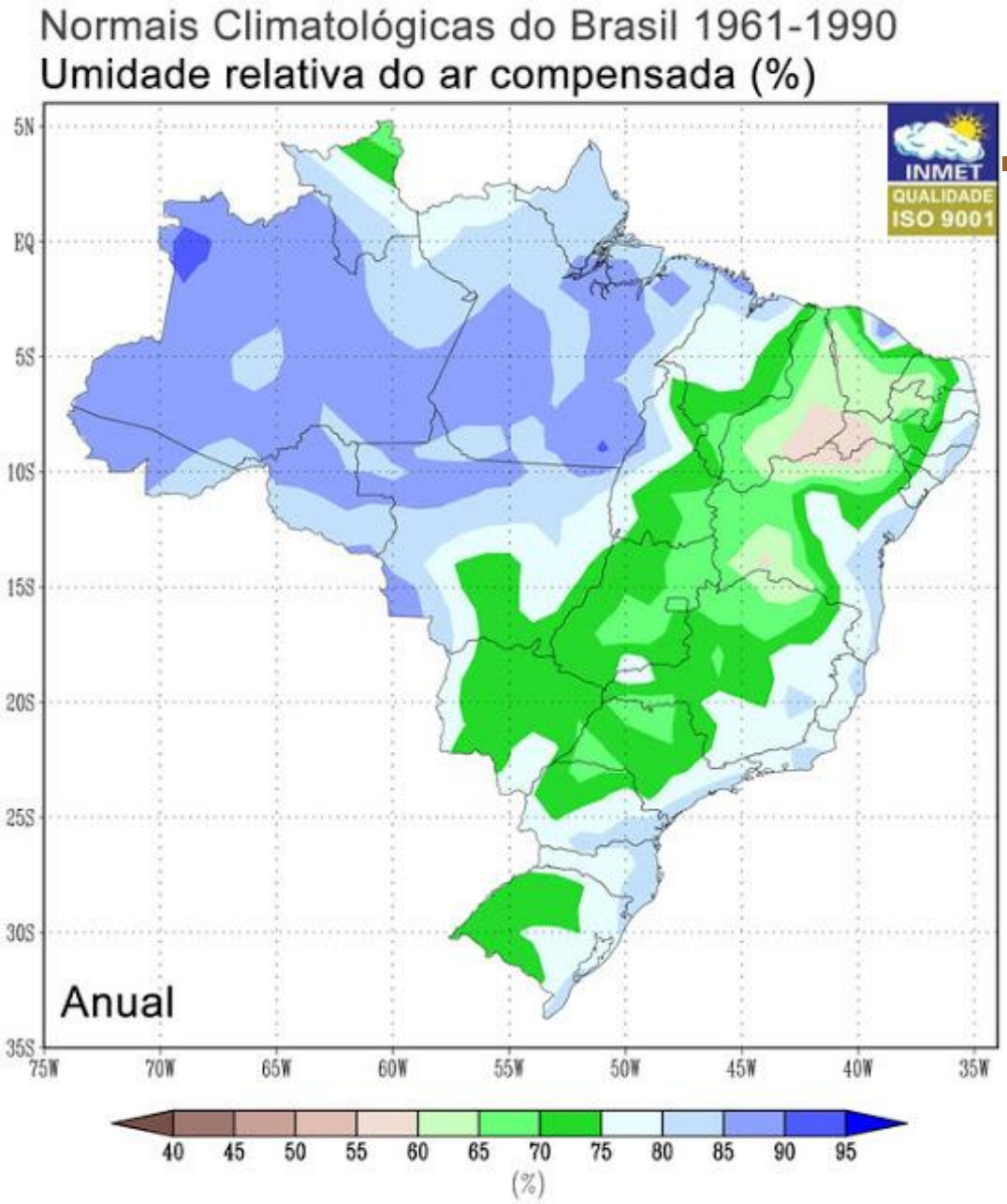
- Devido a natureza higroscópica o grau de umidade de uma peça de madeira em serviço varia continuamente;
- A umidade está presente na madeira de duas formas:
  - **Água livre:** contida no interior da cavidade das células ocas – fácil eliminação por secagem;
  - **Água impregnada:** adsorvida nas paredes das fibras – **difícil de ser eliminada**;



Fonte: Apostila de Madeira Prof. Miguel Hilgenberg Neto (UFPR)

Umidade (3)

Fonte: http://www.goiastempo.com/2012/07/baixa-umidade-relativa-do-ar-em-goiania.html



Densidade

- **Densidade Básica:**

$$\rho_{bas} = \frac{m_{seca}}{V_{sat}}$$

$\mathbf{m_{seca}}$: massa completamente seca
$\mathbf{V_{sat}}$: volume saturado

  - Densidade apontada como valor de referência na literatura técnica / científica internacional

- **Densidade Aparente:**

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12\%}}{V_{sat}}$$

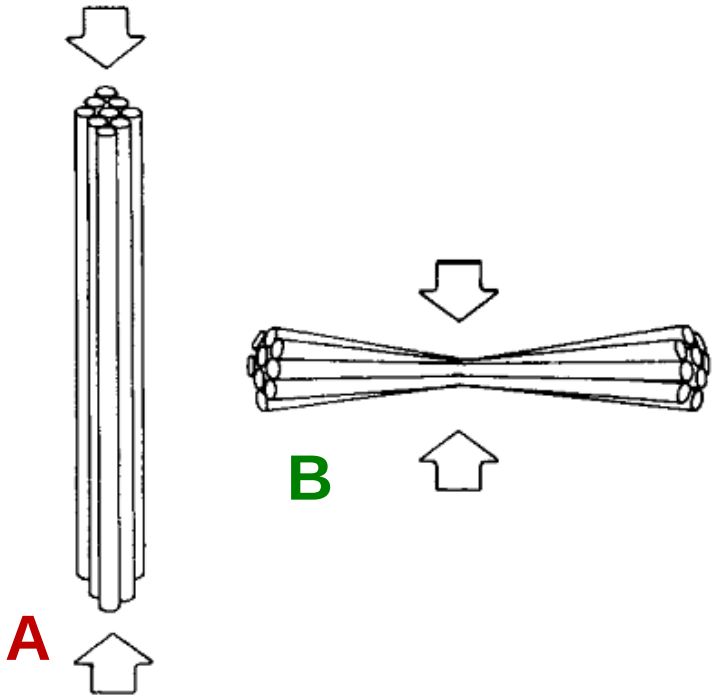
$\mathbf{m_{12\%}}$: massa na umidade 12% (umidade padrão)

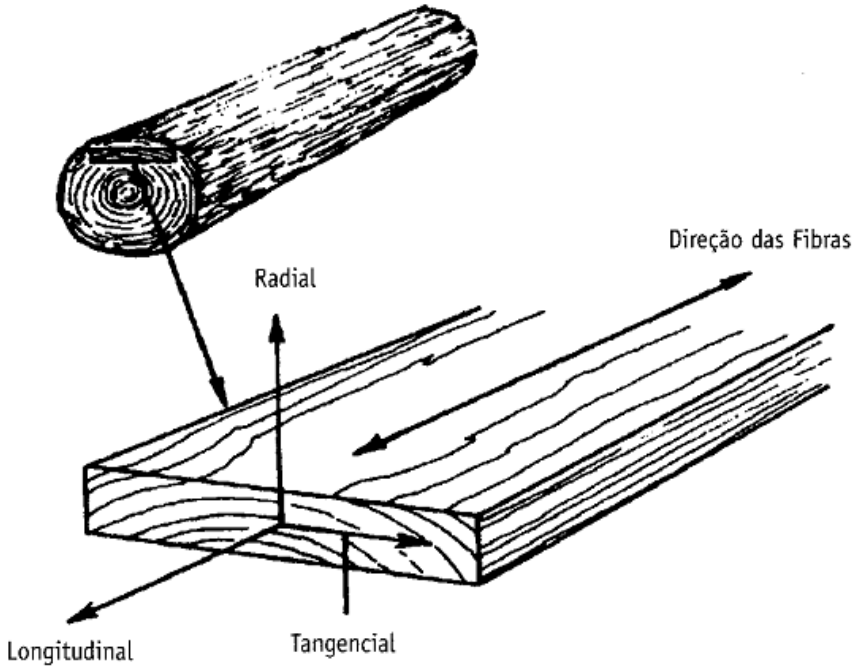
  - Densidade utilizada na classificação da madeira e no cálculo estrutural

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Ortotropia (1)

- Comportamentos diferentes nas direções **paralela (longitudinal - A)** e **perpendicular (transversal - B)** as fibras.

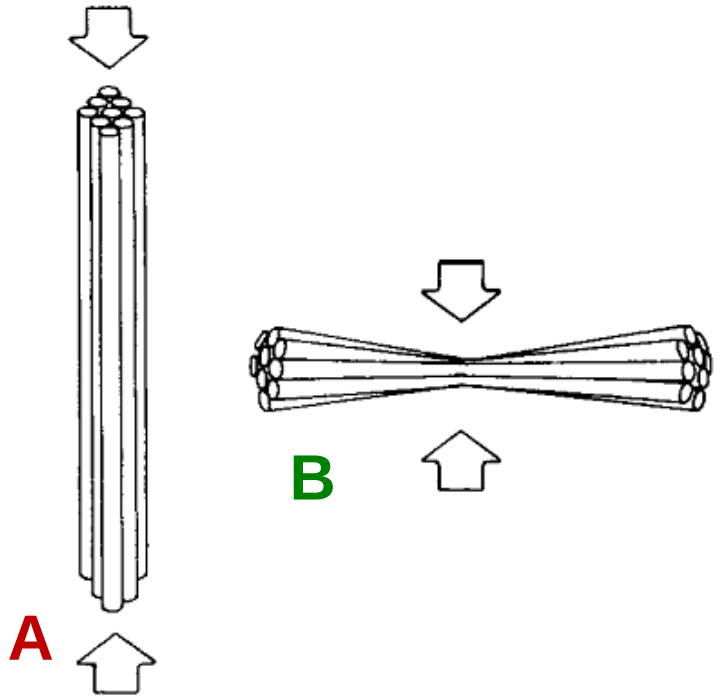




Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Ortotropia (2)

- As diferenças das propriedades nas **direções radial e tangencial** são relativamente **menores quando comparadas com a direção longitudinal**;
- Para utilização estrutural, as propriedades são apresentadas somente no **sentido paralelo às fibras (longitudinal)** e no **sentido perpendicular às fibras (radial e tangencial indistintamente)**



Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

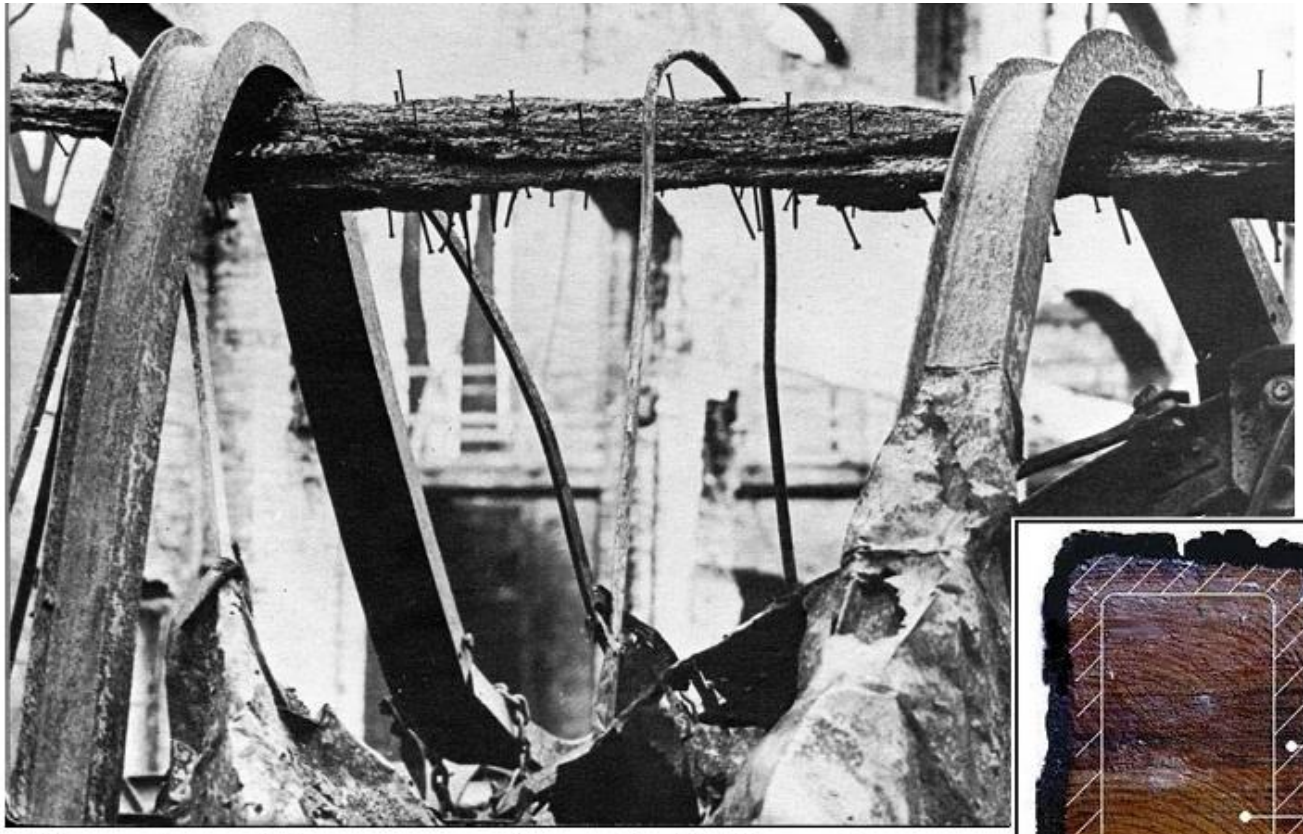
Outras Características da Madeira (1)

- **Retratibilidade**
  - Redução das dimensões das peças de madeira devido a saída da água de impregnação – varia de acordo com a direção considerada das fibras da madeira;

- **Resistência ao fogo**
  - Ao contrário do que se pensa a madeira não tem baixa resistência ao fogo. A peça exposta ao fogo torna-se combustível para a propagação de chamas, porém, após alguns minutos de queima, a camada externa carbonizada torna-se um isolante térmico, retardando o efeito do incêndio;

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Resistência ao Fogo (Prof. Charles Jaster de Oliveira)



Vigas de madeira e aço após um incêndio: note que a estrutura em aço se deformou completamente, enquanto que a viga de madeira ainda sustenta sua carga mesmo após o contato com o fogo em altas temperaturas.





Seção de uma viga de madeira laminada colada, exposta ao fogo durante 30 minutos

Outras Características da Madeira (2)

- **Durabilidade natural**
  - Varia de acordo com as características de cada espécie;
  - A baixa durabilidade natural pode ser compensada por tratamentos preservativos;

- **Resistência química**
  - A maior parte das espécies de madeira conhecidas tem boa resistência à ação química, fato pelo qual a solução é muito adotada em ambientes com agressividade química;

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Universidade POSITIVO

Aula 11 - Seção 3:
Principais Produtos em Madeira para Construção

Tipos de Madeira de Construção

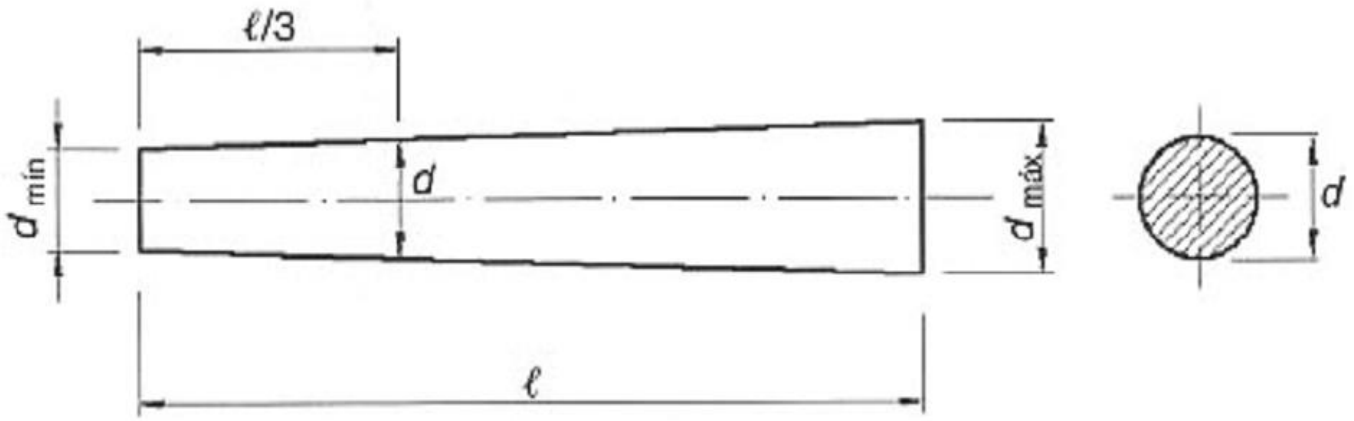
- **Madeiras maciças**
  - Madeira falquejada;
  - Madeira serrada;
  - Madeira bruta ou roliça;

- **Madeiras industrializadas**
  - Madeira compensada;
  - Madeira laminada e colada (ou microlaminada);
  - Madeira recomposta;

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Roliça

- Mais frequentemente utilizada em **construções provisórias** como escoramentos (pinhos-do-paraná e eucaliptos);
- Necessário revestir as seções de corte com alcatrão ou outro material impermeabilizante para impedir rachaduras;

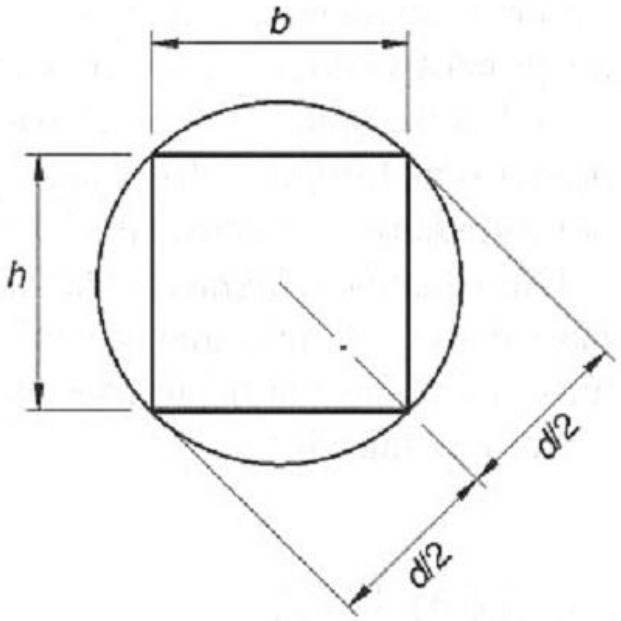


d – diâmetro nominal para efeito de cálculo considerando uma peça tronco-cônica como sendo cilíndrica

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Falquejada (1)

- Obtida de troncos por **corte com machado**;
- Podem ser obtidas seções de grandes dimensões como **30 x 30 cm** ou até mesmo **60 x 60 cm**;
- Parte laterais configuram-se como perdas;



$$A = bh = \sqrt{d^2 - h^2}$$

$$\frac{dA}{dh} = 0 \text{ conduz a } b = h = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

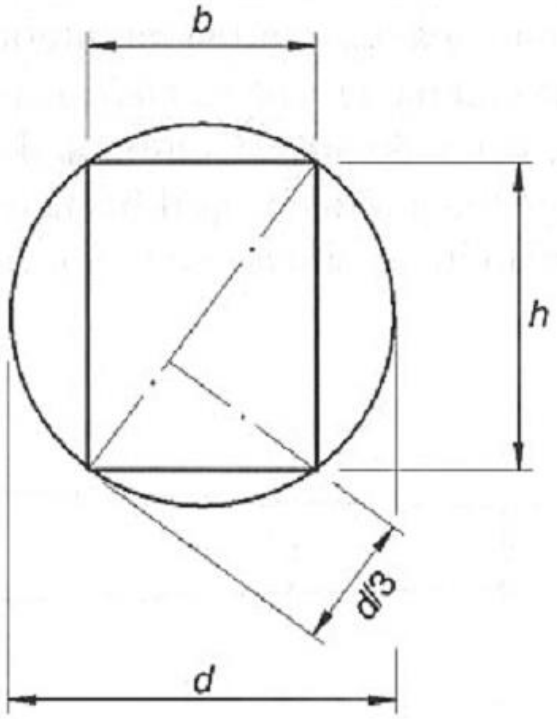
$$A = bh = \frac{d^2}{2} = 0{,}64\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{d^3}{12\sqrt{2}} = 0{,}059\,d^3.$$

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Falquejada (2)

- Interesse em se determinar a seção retangular (b xh) de maior **módulo resistente** (**W = bh^2/6**) que se pode obter de um tronco circular de diâmetro “d” ;



$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{bd^2 - b^3}{6}$$

$$\frac{dW}{db} = 0 \text{ conduz a } b = \frac{d}{\sqrt{3}} \qquad h = \sqrt{2}\,b = \sqrt{\frac{2}{3}}\,d$$

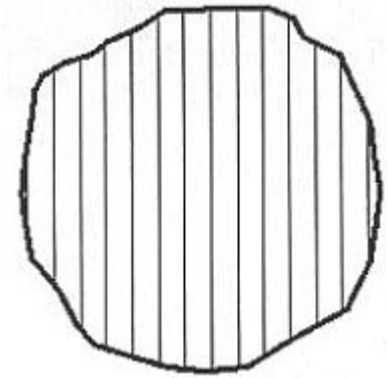
$$A = bh = \frac{\sqrt{2}}{3}\,d^2 = 0{,}60\left(\frac{\pi}{4}\,d^2\right)$$

$$W = \frac{d^3}{9\sqrt{3}} = 0{,}064\,d^3.$$

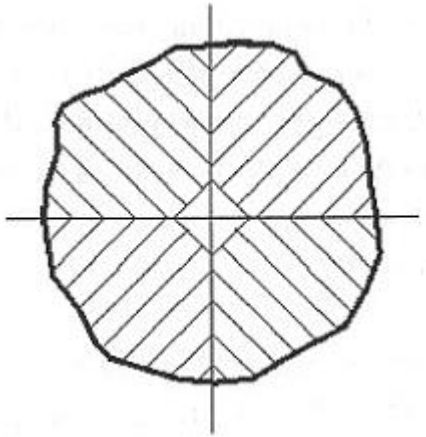
Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Serrada (1)

- Desdobramento de toras;
- Cuidados com a secagem:
  - **Lenta natural** : *1 a 2 anos;*
  - **Artificial** : *em túnel – 10 dias a 1 mês por polegada de espessura da peça;*



Desdobramento em pranchas paralelas



Desdobramento radial

Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Serrada (2)

- Dimensões e Nomenclatura;

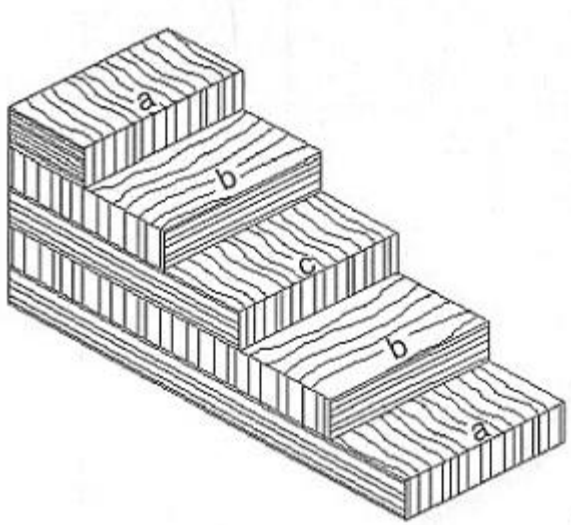
Nome :	Dimensões aproximadas :
ripas	1,25 X 5,0
ripões	2,5 X 5,0
sarrafos	2,5 X 10,0
caibros	5,0 X 5,0
caibrões	5,0 X 7,5
pontaletes	7,5 X 7,5 ; 10,0 X 10,0

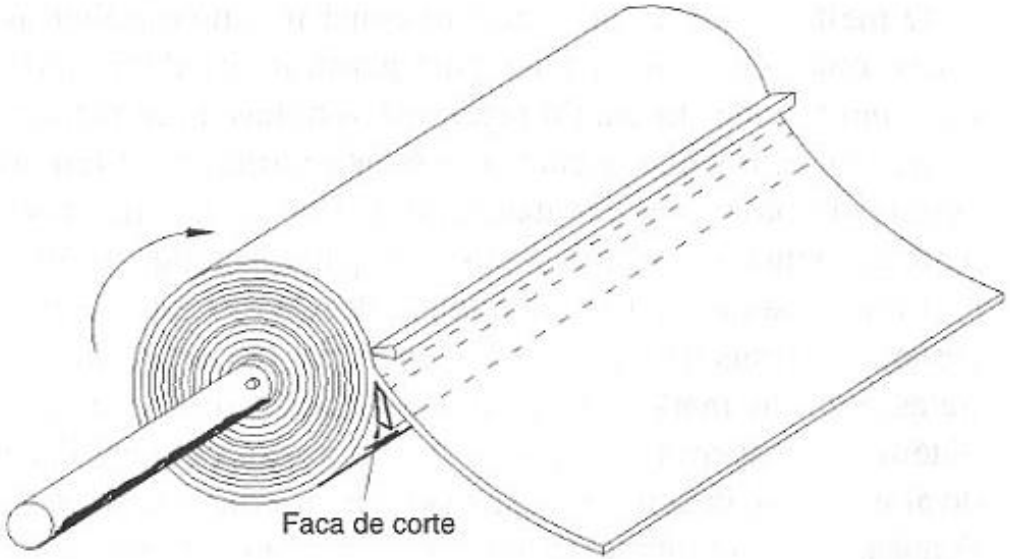
Nome :	Dimensões aproximadas :
vigotas, vigas	5,0 X 10,0 ; 7,5 X 15,0
tábuas	2,5 X 20,0
pranchas	3,75 X 20,0
pranchões	5,0 X 20,0 ; 7,5 X 30,0
postes	15,0 X 15,0 ; ϕ=15,0

Fonte: Apostila de Madeira Prof. Miguel Hilgenberg Neto (UFPR)

Madeira Compensada

- Chapas produzidas com lâminas de pequena espessura, sobrepostas, coladas entre si, com a orientação das fibras alternadamente disposta;

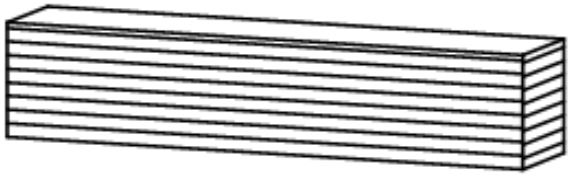


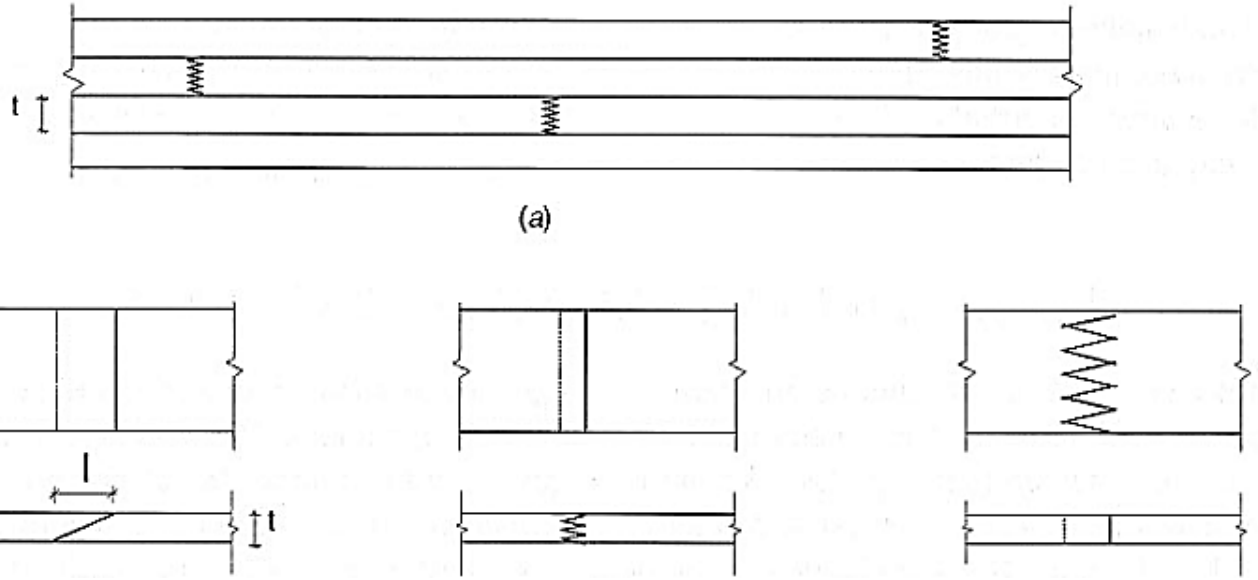


Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Laminada e Colada

- Seções retangulares convencionais, de comprimentos variáveis, compostas por lâminas de espessura média (aprox. 2 a 3 cm), sobrepostas, coladas entre si, com a orientação das fibras paralelamente disposta;





Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Madeira Recomposta

- Chapas produzidas por fibras de madeira de comprimentos pequenos (até 10 cm), recompostas sem a necessidade de orientação das mesmas.



Fonte: Estruturas de Madeira - 6ª Ed. 2012. Pfeil, Walter

Vídeos sobre Beneficiamento de Madeira Maciça (1)

• Corte:
https://www.youtube.com/watch?v=__RxTQxeW4Y
https://www.youtube.com/user/JD1470E
https://www.youtube.com/watch?v=ftV2HeKPeBM
https://www.youtube.com/user/audirobban

• Secagem:
https://www.youtube.com/watch?v=P5goR5pbgUA

• Desdobramento
https://www.youtube.com/watch?v=w7LOwF2iKUE
https://www.youtube.com/watch?v=GyaYw1BQ7tE

• Laminados:
https://www.youtube.com/watch?v=Ltaosn_4BFU
https://www.youtube.com/watch?v=KEgAogqXuNM
https://www.youtube.com/watch?v=IN2su7iVmw8

Vídeos sobre Beneficiamento de Madeira Maciça (2)

- Madeira Laminada Colada:
https://www.youtube.com/watch?v=yIJRN7x8_cY
https://www.youtube.com/watch?v=RKn2af1UPgk

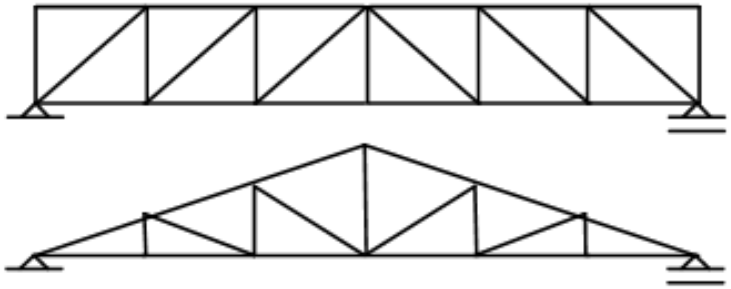
- Madeira Recomposta OSB:
https://www.youtube.com/watch?v=MYDI9eWnK3U

- Madeira Recomposta MDF:
https://www.youtube.com/watch?v=FOmaQSoPVDk

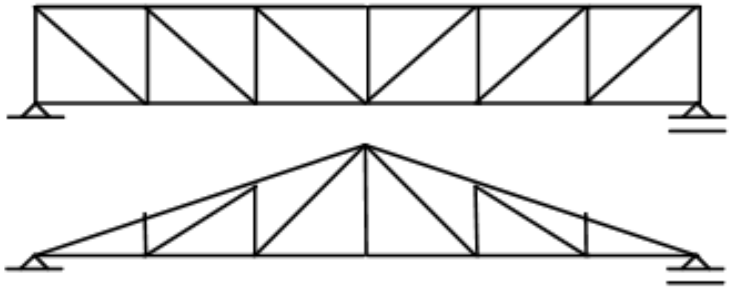
Universidade POSITIVO

Aula 11 - Seção 4:
Noções quanto à Sistemas Estruturais em Madeira

Treliças de Tesouras (1)



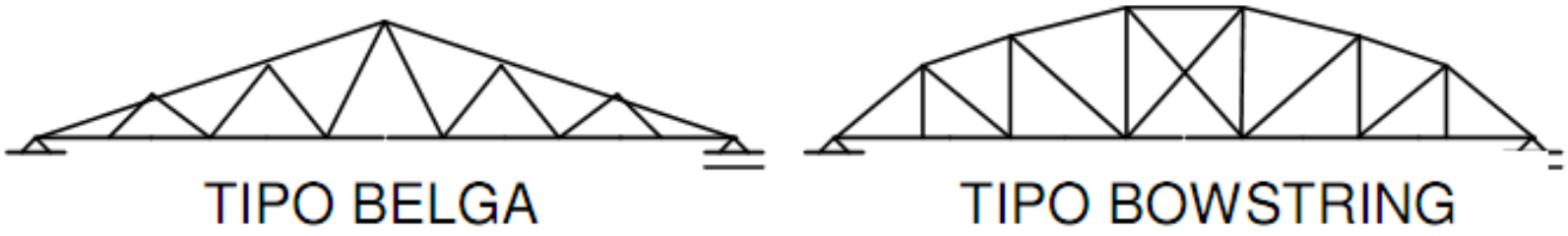
TIPO HOWE ou INGLESAS



TIPO PRATT ou AMERICANAS

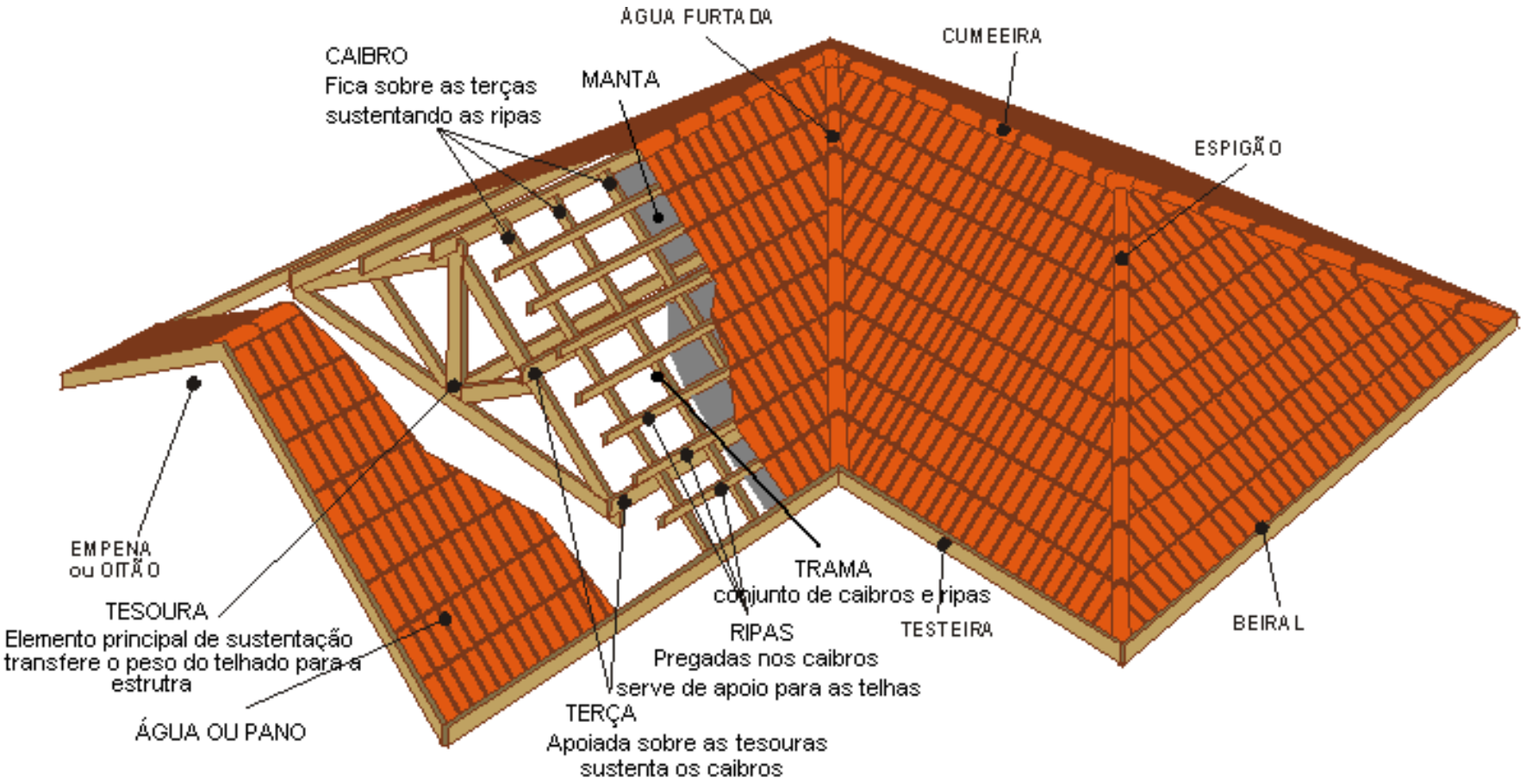
- A solução **PRATT** quase não é usada em madeira – apesar da geometria apresentar a conveniência de barras comprimidas mais curtas e barras tracionadas mais longas do que a solução **HOWE**, ela apresenta **grande dificuldade de execução das ligações**;

Treliças de Tesouras (2)



- Variações raramente usadas, mas que podem ter aplicação justificada para atender condições especiais;

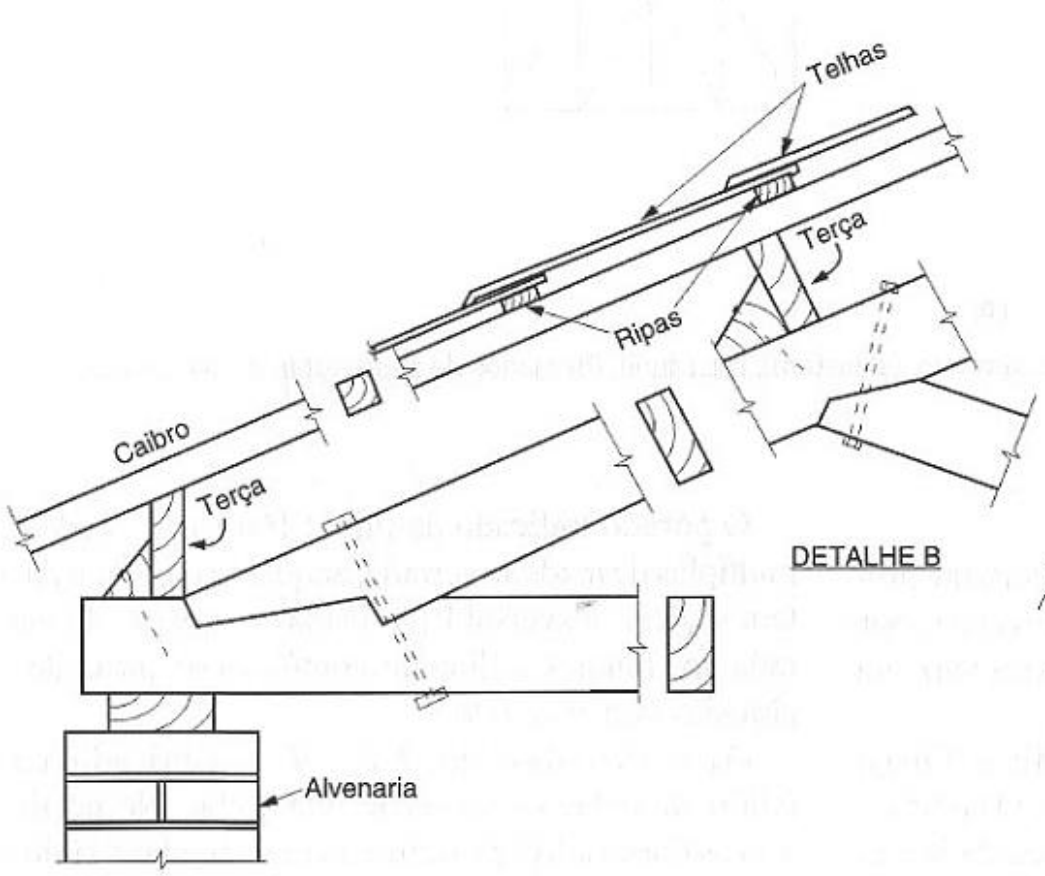
Treliças de Tesouras (3)



Fonte: http://www.fkcomercio.com.br/dicas_para_telhados.html

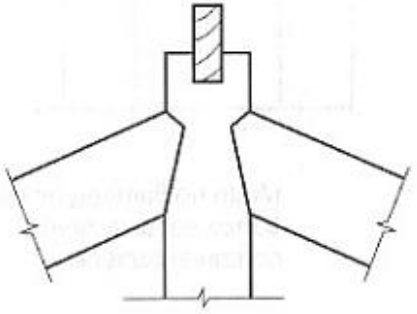
Treliças de Tesouras (4)

- Detalhamento:

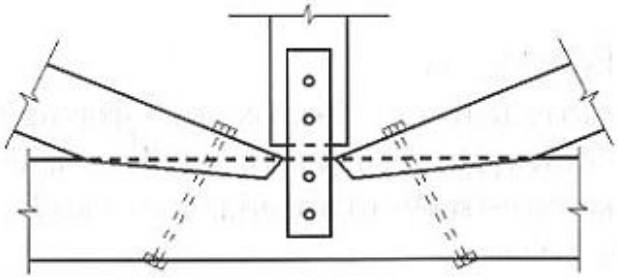


DETALHE A

DETALHE B



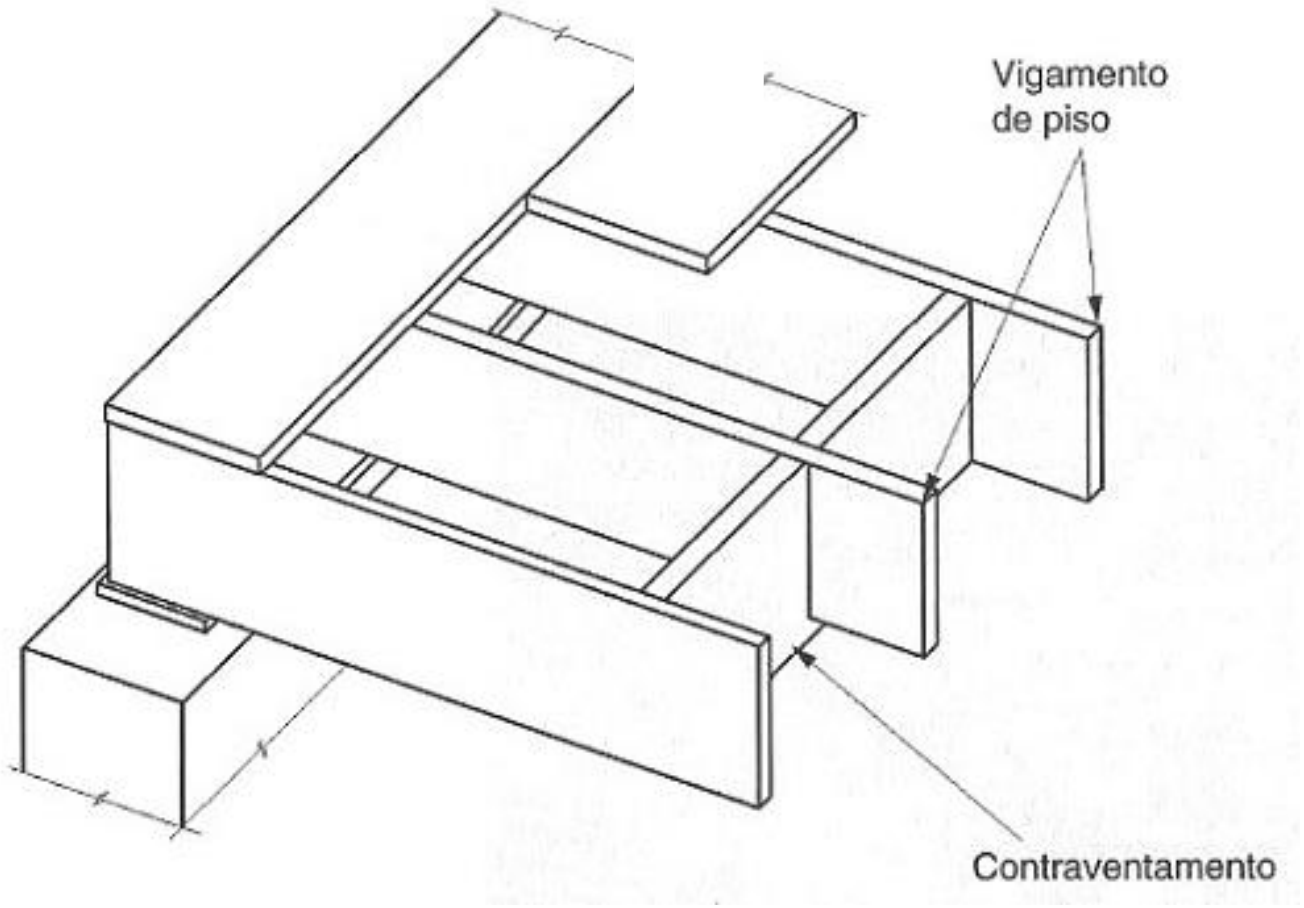
DETALHE D



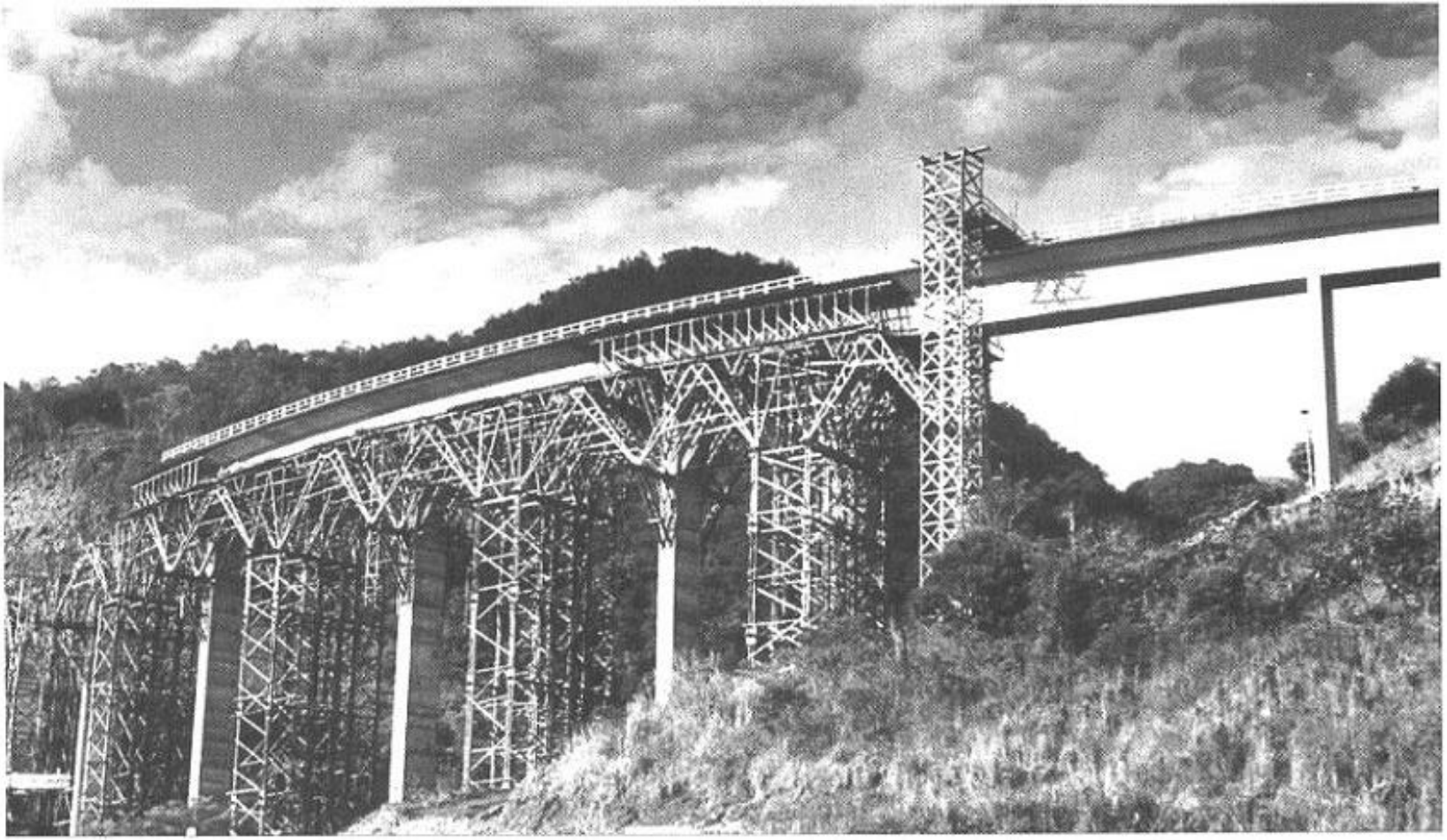
DETALHE C

Vigamentos para Pisos em Madeira

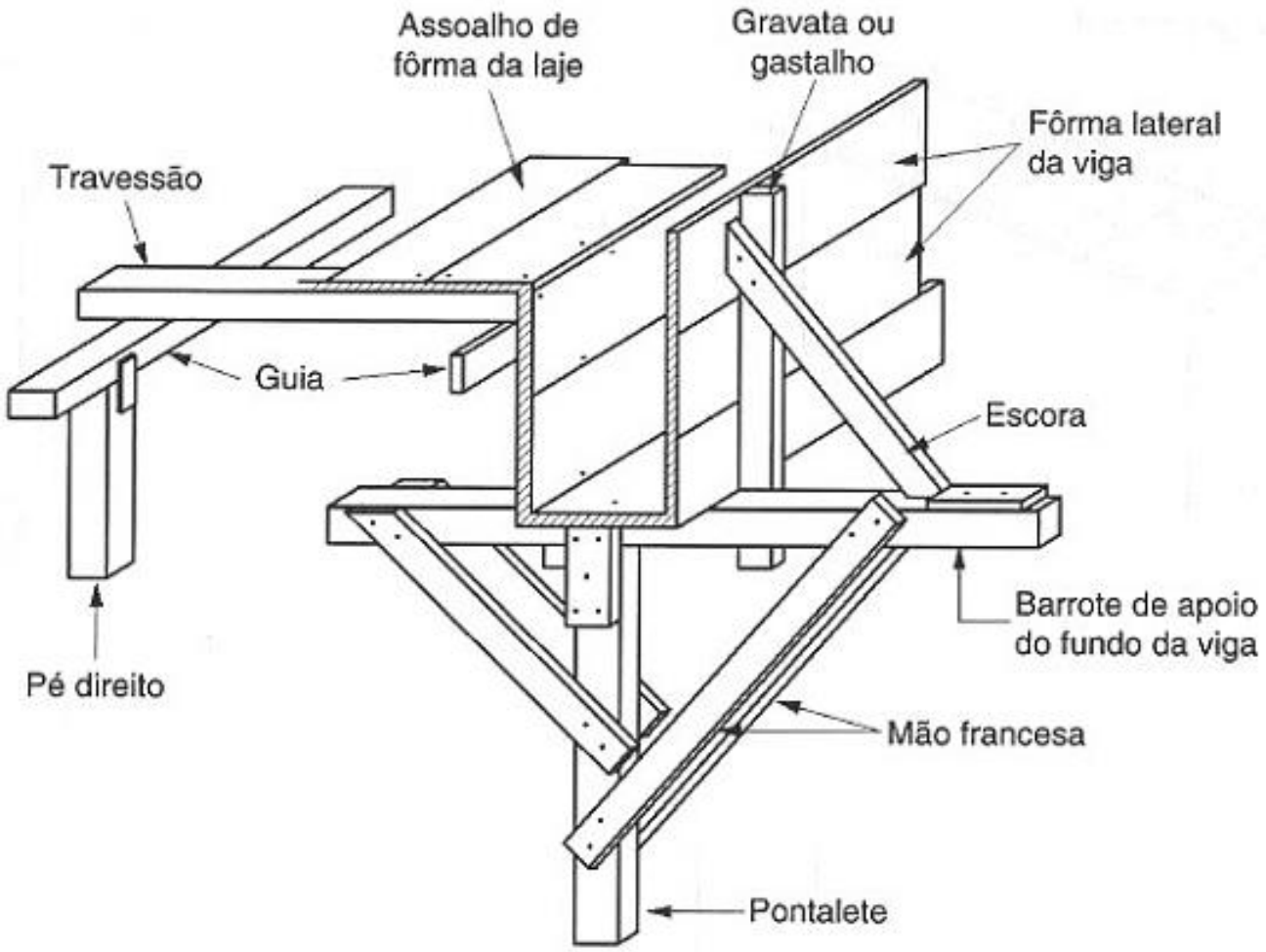
- Detalhamento:



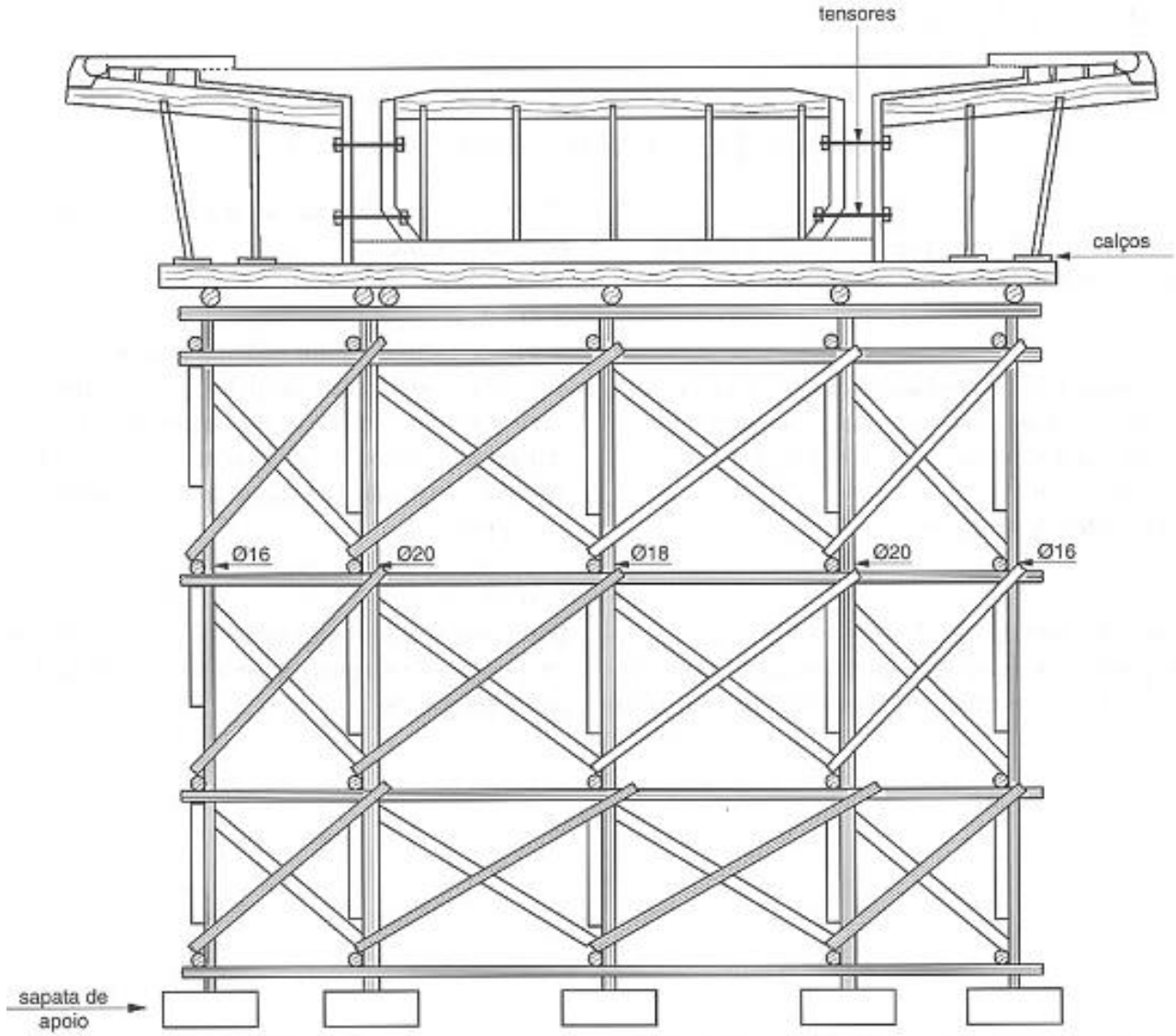
Formas para Concreto Armado (1)



Formas para Concreto Armado (2)



Formas para Concreto Armado (3)



Exemplos de Estruturas em Madeira



Exemplos de Estruturas em Madeira



Fonte: http://www.atelhanova.com.br/estruturas-madeira.php

Exemplos de Estruturas em Madeira



Fonte: http://www.swissinfo.ch/por/obra-de-shigeru-ban_o-maior-edifício-do-mundo-em-madeira-está-em-zurique/36498462

Exemplos de Estruturas em Madeira



Fonte: http://www.swissinfo.ch/por/obra-de-shigeru-ban_o-maior-edifício-do-mundo-em-madeira-está-em-zurique/36498462

Exemplos de Estruturas em Madeira



Fonte: http://www.swissinfo.ch/por/obra-de-shigeru-ban_o-maior-edifício-do-mundo-em-madeira-está-em-zurique/36498462

Exemplos de Estruturas em Madeira



Fonte: http://www.geotesc.com.br/site/tag/maior-estrutura-de-madeira/

FIM