ESTRUTURAS METÁLICAS, MADEIRAS E ESPECIAIS

TARSO LUÍS CAVAZZANA

Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, MBA em Gestão Empresarial

tarsocavazzana@yahoo.com.br

Plano de ensino

- **CARGA HORÁRIA SEMANAL:** 02 Horas/Aula (02 Teoria)
- **CARGA HORÁRIA SEMESTRAL**: 40 Horas

EMENTA

- Materiais Metálicos
- Produtos Siderúrgicos
- Produtos Metalúrgicos
- Ações Estruturais
- Seções Transversais
- Métodos dos Estados Limites
- Barras Tracionadas
- Ligações Parafusadas
- Barras Comprimidas
- Barras Flexionadas

EMENTA

- Ligações Soldadas
- Madeiras de Construção
- Ensaios e Bases de Cálculo
- Ligações Estruturais
- Tesouras
- Pontaletes e Escoramentos
- Vigas e Treliças de Madeira

OBJETIVOS GERAIS

Capacitar o aluno para o conhecimento do uso dos materiais metálicos, normas de cálculo, critérios de dimensionamento para vigas, colunas, tirantes, escadas, chapas etc. Tipos de conexões entre as peças, solda, parafusos, etc. Ação de vento. Estruturas de madeira abrangendo tesouras para telhados, pontes, sistemas de escoramento, fôrmas de estruturas, etc.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Habilitar o aluno para o dimensionamento à flexão, à tração à compressão e à flexo-compressão de Flambagem, estudo de estabilidade, torção, etc – Dimensionamento de conexões soldadas e parafusadas em estruturas metálicas, além de capacitar o aluno a também elaborar e responsabilizar-se profissionalmente por projetos de estruturas de madeira.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Produtos Siderúrgicos, Produtos Metalúrgicos, Perfis, Normas Técnicas.
- Ações Estruturais, Diagramas, Tensão X Deformação de Aços, Aço Estrutural.
- Características Geométricas das Seções Transversais.
- Métodos dos Estados Limites.
- Barras Tracionadas, Ligações Parafusadas.
- Barras Comprimidas, Barras Flexionadas.
- Ligações Soldadas.
- Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Madeiras para Construção – Produtos Comerciais.
- Ensaios de Madeiras – Bases de Cálculo.
- Ligações de Peças Estruturais.
- Peças Tracionadas – Emendas.
- Peças Comprimidas Axialmente – Flambagem.
- Vigas Simples e Armadas.
- Treliças Planas.
- Normas Técnicas.

ESTRATÉGIA DE TRABALHO

Apostilas e textos. Exercícios em sala. Projeção de vídeos e de transparências. Materiais demonstrativos (parafusos, perfis, etc).

AVALIAÇÃO

- MF=(0,7*(P1+P2)/2)+0,3*MTR
- MF = Média final
- P1= Nota da Prova 1
- P2= Nota da Prova 2
- MTR= Média aritmética de Trabalhos e Relatórios

- Exame final tem que tirar no mínimo o complementar de MF para 10.

BIBLIOGRAFIA - Básica

- PFEIL, W,; PFEIL, M. **“Estruturas de Aço - Dimensionamento Prático”**, Editora LTC, Rio de Janeiro. 2000.
- PFEIL, W. **“Estruturas de Madeira”**, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2000.
- CARVALHO, M. **“Construções de Madeira”**, Editora Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1998.

BIBLIOGRAFIA - Complementar

- SANTOS F. **“Estruturas Metálicas -Projeto e Detalhes para Fabricação”**, Editora
- Mc Graw-Hill, São Paulo, 1977.
- NBR-7190: **“Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira”**, Editora ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

BIBLIOGRAFIA - Complementar

- SANTOS F. **“Estruturas Metálicas -Projeto e Detalhes para Fabricação”**, Editora
- Mc Graw-Hill, São Paulo, 1977.
- NBR-7190: **“Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira”**, Editora ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

Estruturas de madeira

.

Histórico das Estruturas de Madeira no Brasil

- Década de 20, chega ao Brasil o Alemão Erwing Half;
- Empresas Nacionais (de 40 a 60, TECNO, etc);

Estruturas Half

TECNO S.A.

Histórico das Estruturas de Madeira no Brasil

- A partir da década de 60:
  - Escassez das madeiras utilizadas na construção;
  - Custo elevado da madeira X concreto e aço;

- Década de 90 – valorização da madeira pela arquitetura;

- 2000 – Meio Ambiente – A Madeira é o material mais ecológico da construção civil;

2 - A madeira como material estrutural

-

-

Conhecimento comum sobre a madeira

- A madeira é inflamável
- A madeira apodrece
- A madeira é atacada por cupins
- A madeira tem baixa resistência mecânica
- A madeira é apropriada para construções temporárias
- A madeira exige muita manutenção
- Etc..

Origem da madeira

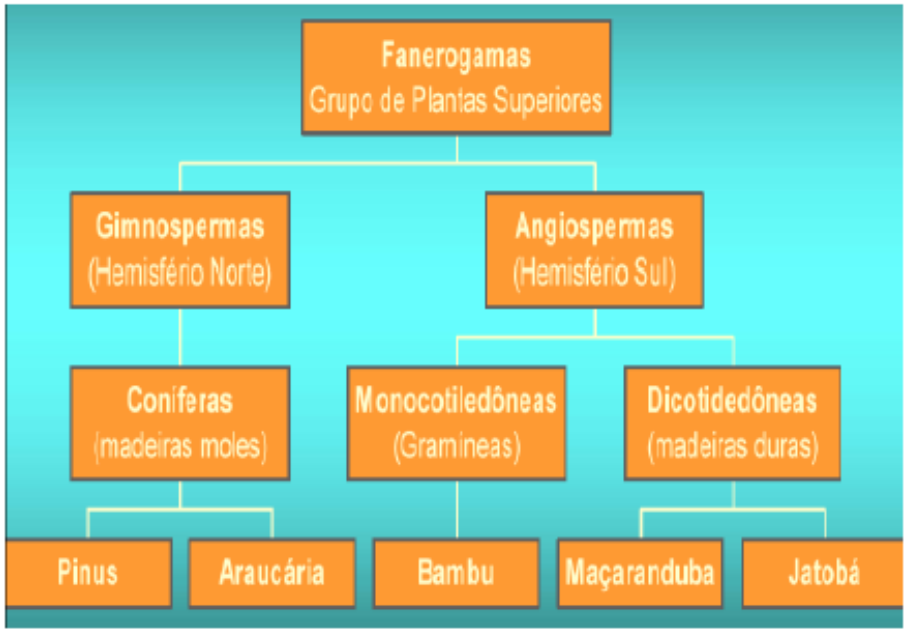
Florestas Nativas

Florestas Plantadas

Consumo de Energia

MATE-RIAL	DENSI-DADE (Kgf/m3)	ENERGIA NECESSÁRIA PARA SUA PRODU-ÇÃO (MJ/m³)	RESIS-TÊNCIA (Kgf/cm2)	MÓDULO DE ELASTI-CIDADE (Kgf/cm2)	ENERGIA POR RESIS-TÊNCIA	DENSIDADE POR RESIS-TÊNCIA	MÓDULO POR RESIS-TÊNCIA
Concreto	2400	920 (óleo)	180	200000	10,7	13,3	80
Aço	7800	234000 (carvão)	2400	2100000	97,5	3,3	270
Madeira Conífera	600	600 (solar)	500	100000	1,2	1,2	160
Dicotile dônea	900	630 (solar)	900	250000	0,7	1,0	270

Classificação Botânica



Espécies comerciais do Brasil

Folhosas (dicotiledôneas)

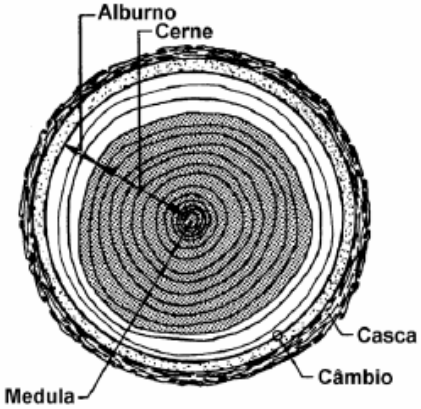
- Cupiúba
- Itaúba
- Garapa
- Cedrinho
- Jatobá
- Ipê
- Maçaranduba
- Champagne
- Cambará
- Angelim
- Virola
- Eucalipto

Coníferas (Gimnosperma):

- Araucária
- Pinus Taeda
- Pinus Elliottii
- Pinus Caribaea

Estrutura macroscópica da árvore

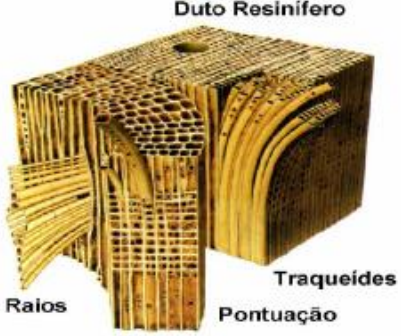
- **Medula:** Tecido em torno do qual ocorre o primeiro crescimento da árvore
- **Cerne:** Região formada por células inativas que servem de sustentação e depósito de extrativos
- **Alburno:** Região formada por células vivas que servem de sustentação e condução da seiva bruta
- **Câmbio:** Região onde ocorre o crescimento da árvore por divisão celular
- **Casca:** Proteção externa das árvores formada por células mortas



A madeira também apresenta diferentes propriedades em função da época em que ela foi produzida. Basicamente pode-se diferencia a madeira em função da idade da árvore como madeira juvenil, madeira de transição e madeira adulta. Em função da estação do ano, pode-se diferenciar lenho inicial e lenho tardio, que formam os chamados anéis de crescimento. Essas características são muito mais marcantes nas coníferas.

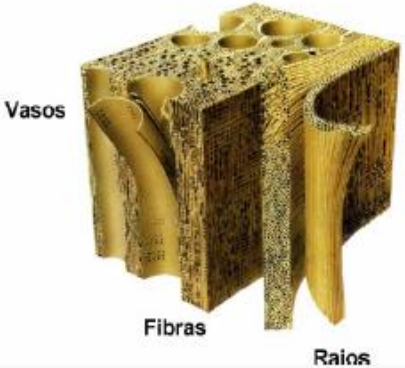
ANATOMIA DO TECIDO LENHOSO DAS CONÍFERAS

- Traqueídes
- Raios medulares
- Canais resiníferos
- Pontuação



ANATOMIA DO TECIDO LENHOSO DAS FOLHOSAS

- Fibras
- Raios medulares
- Vasos



Propriedades Físicas da Madeira

As propriedades físicas mais relevantes para a utilização da madeira como material estrutural são:

- Densidade;
- Teor de umidade;
- Retratibilidade e Inchamento;
- Carbonização.

A Densidade da madeira é a relação entre a massa e o volume.

- Densidade Básica (massa seca / volume saturado)
- Densidade Aparente (massa/volume para mesmo T.U.)

A densidade aparente é a mais importante para dimensionamento estrutural;

A densidade tem alta correlação com a Resistência e a Rigidez Mecânica;

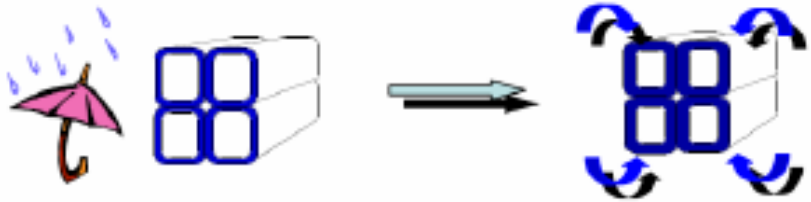
A máxima densidade que uma madeira pode alcançar é aprox. 1800kgf/m3

Propriedades Mecânicas da madeira mais relevantes para o projeto de estruturas de madeira:

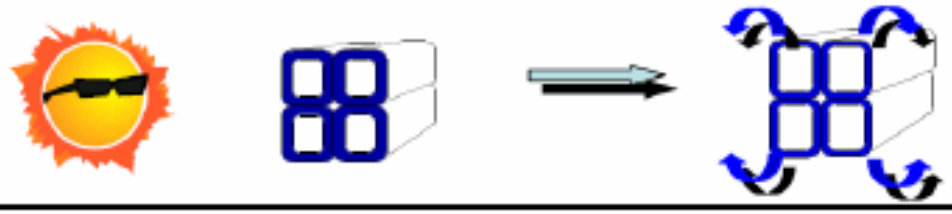
- Tração
- Compressão
- Cisalhamento
- Flexão
- Embutimento

Teor de Umidade de Equilíbrio na Madeira

ATMOSFERA ÚMIDA / MADEIRA SECA = UMIDADE MOVE PARA A MADEIRA



ATMOSFERA SECA / MADEIRA ÚMIDA = UMIDADE MOVE DA MADEIRA



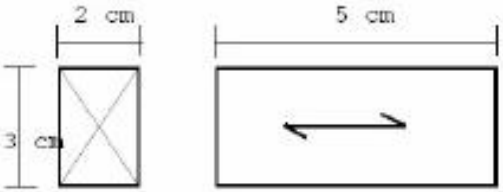
MADEIRA NA UMIDADE DE EQUILÍBRIO = BAIXO MOVIMENTO DE UMIDADE

UMIDADE DE EQUILÍBRIO	
Interior ar condicionado	Ueq = 8% - 10%
Interior aquecido	Ueq = 8% - 12%
Exterior - costa	Ueq = 14% - 18%
Exterior - campo	Ueq = 10% - 15%

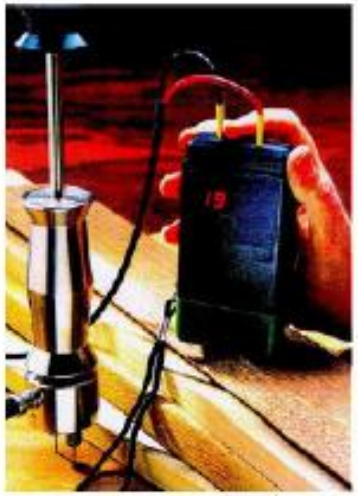
Determinação do Teor de Umidade e da Densidade

MÉTODO DA SECAGEM EM ESTUFA

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100$$



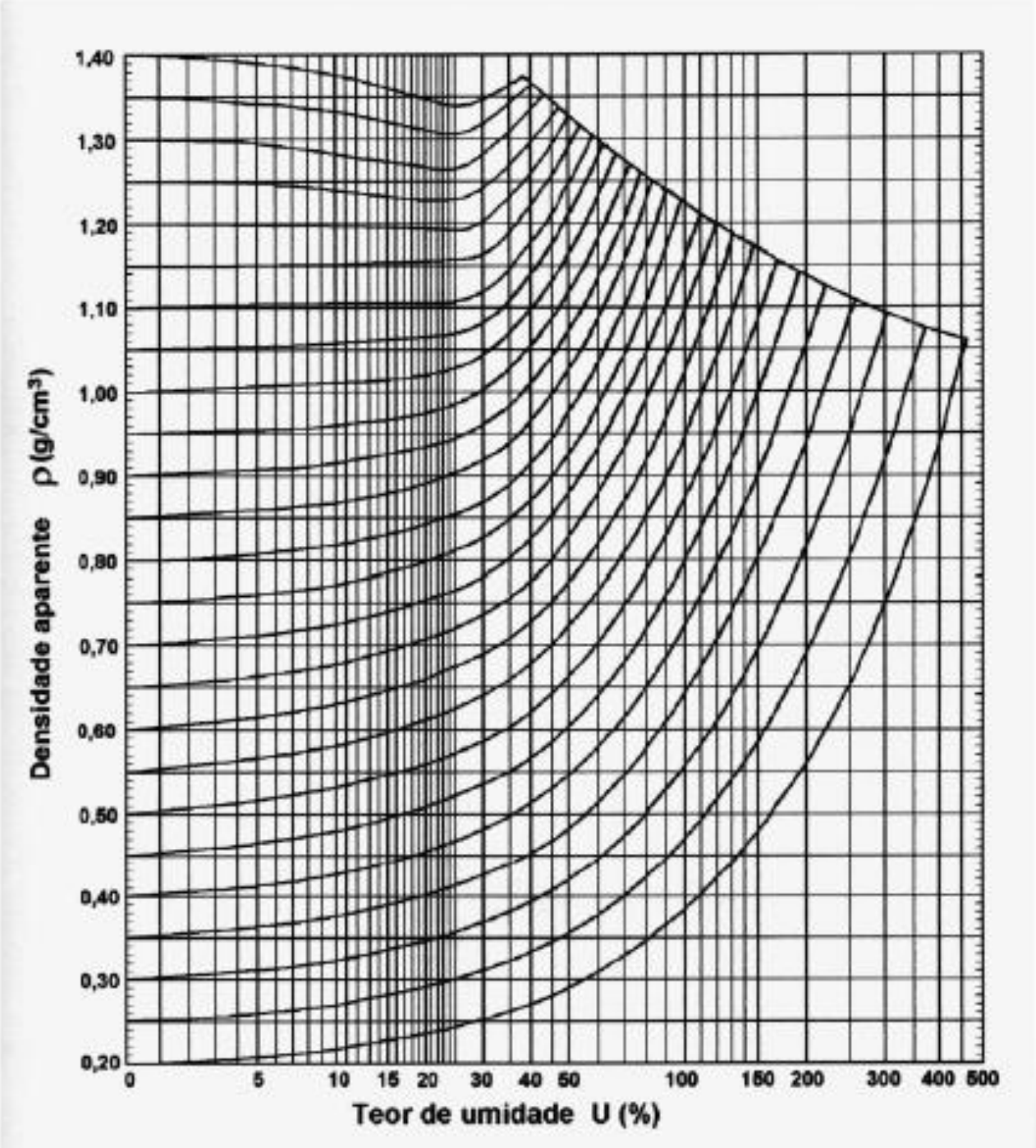
ESTIMATIVA POR MEIO DE MEDIDORES ELÉTRICOS



DENSIDADE APARENTE

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

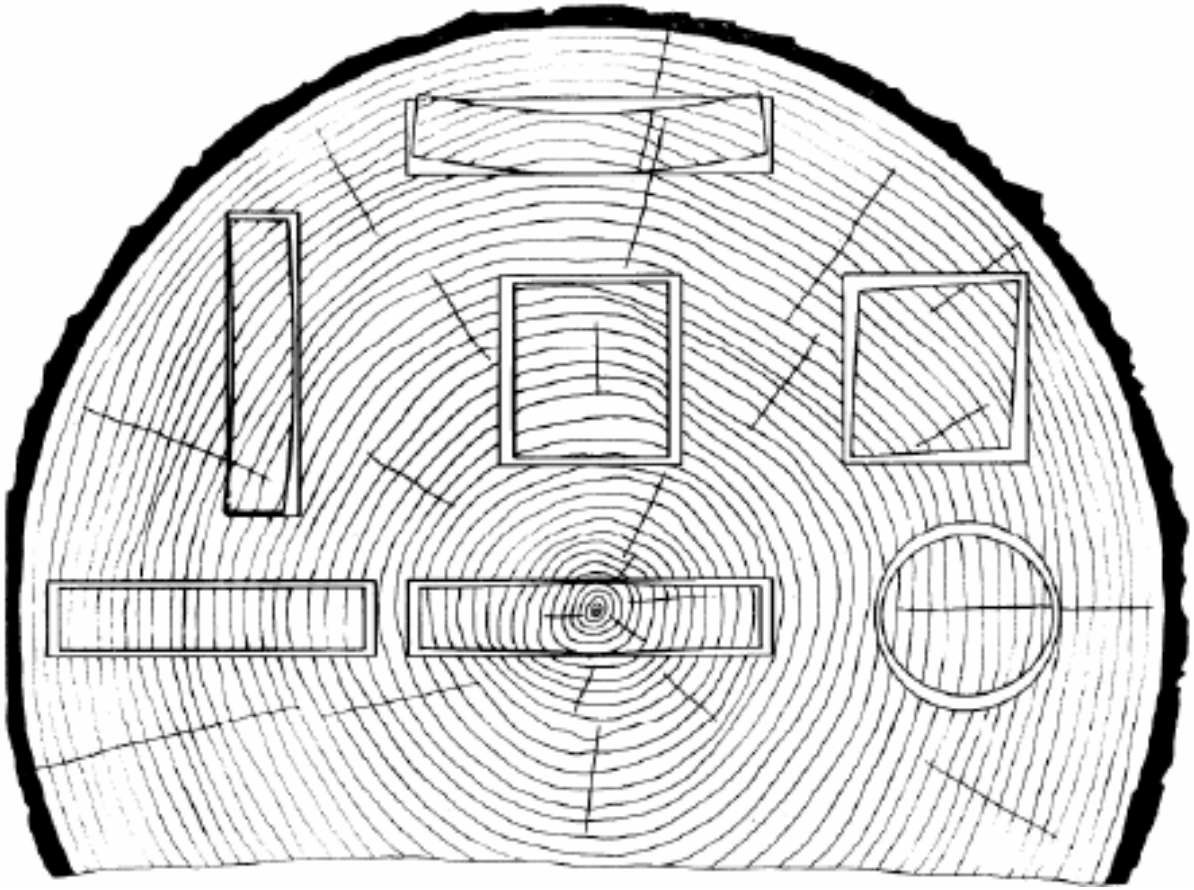
Diagrama de Kollmann



Retração e Inchamento

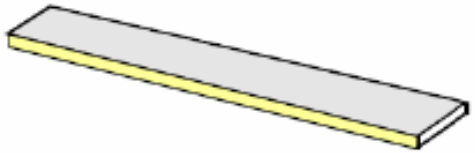
A árvore viva apresenta alto Teor de Umidade. Ao perder a umidade depois da colheita e depois do desdobro, a madeira retrai.

RETRAÇÕES E DISTORÇÕES CARACTERÍSTICAS AFETADAS PELA DIREÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.
RETRAÇÃO TANGENCIAL É APROXIMADAMENTE O DOBRO DA RADIAL

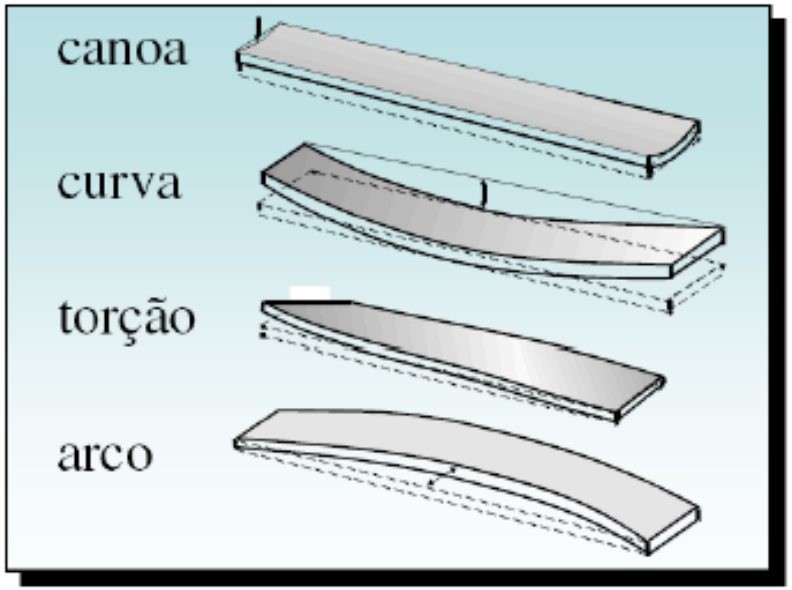


Defeitos causados pela Retração

DEFICIÊNCIAS NA CONDUÇÃO DA SECAGEM OU NO ARMAZENAMETO PODEM PROVOCAR UMA SÉRIE DE DEFEITOS NAS PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA



- Encanoamento
- Encurvamento
- Torcimento
- Arqueamento



Variação Dimensional devido à Retração

O valor da retração total é dado pela variação da dimensão da madeira a partir do ponto de saturação até o teor de umidade próximo de zero.

Direção	Retração Total (%)
Longitudinal (L)	0,1 a 0,9
Radial (R)	2,4 a 11,0
Tangencial (T)	3,5 a 15,0
Volumétrica (V)	6,0 a 27,0

Espécie	R (%)	T(%)	Relação T/R
Angelim Pedra	4,3	7,0	1,6
Cambará	3,6	8,7	2,4
Castanheira	4,7	9,4	2,0
Cedro	4,0	5,3	1,3
Cupiúba	4,3	7,1	1,7
Eucalipto Citriodora	6,5	9,6	1,5
Eucalipto Tereticornis	7,3	16,7	2,3
Freijó	6,3	11,7	1,9
Goiabão	8,9	18,8	2,1
Ipê	5,1	7,8	1,5
Jatobá	3,6	6,9	1,9
Louro Preto	4,2	8,0	1,9
Mandioqueira	4,7	9,3	2,0
Mogno	3,0	4,1	1,4
Sucupira	5,9	7,3	1,2
Tatajuba	4,1	5,9	1,4

Secagem da Madeira

IMPORTÂNCIA DA SECAGEM

- Aumento da resistência e rigidez
- Redução da fluência
- Aumento da durabilidade (reduz o risco de ataques)
- Estabilidade dimensional
- Redução dos defeitos

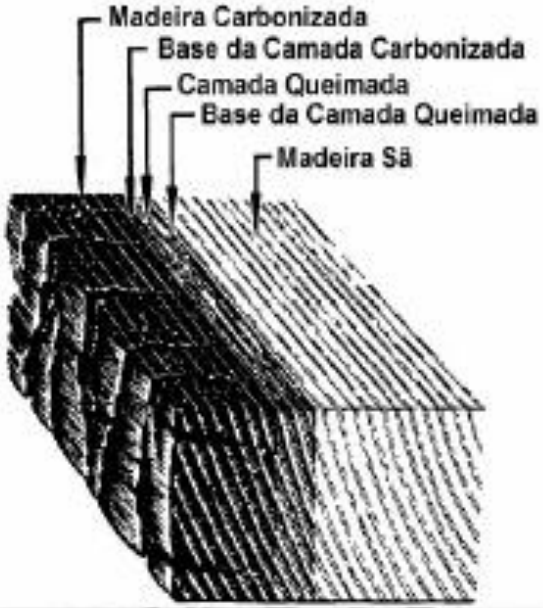
SECAGEM ARTIFICIAL EM ESTUFA

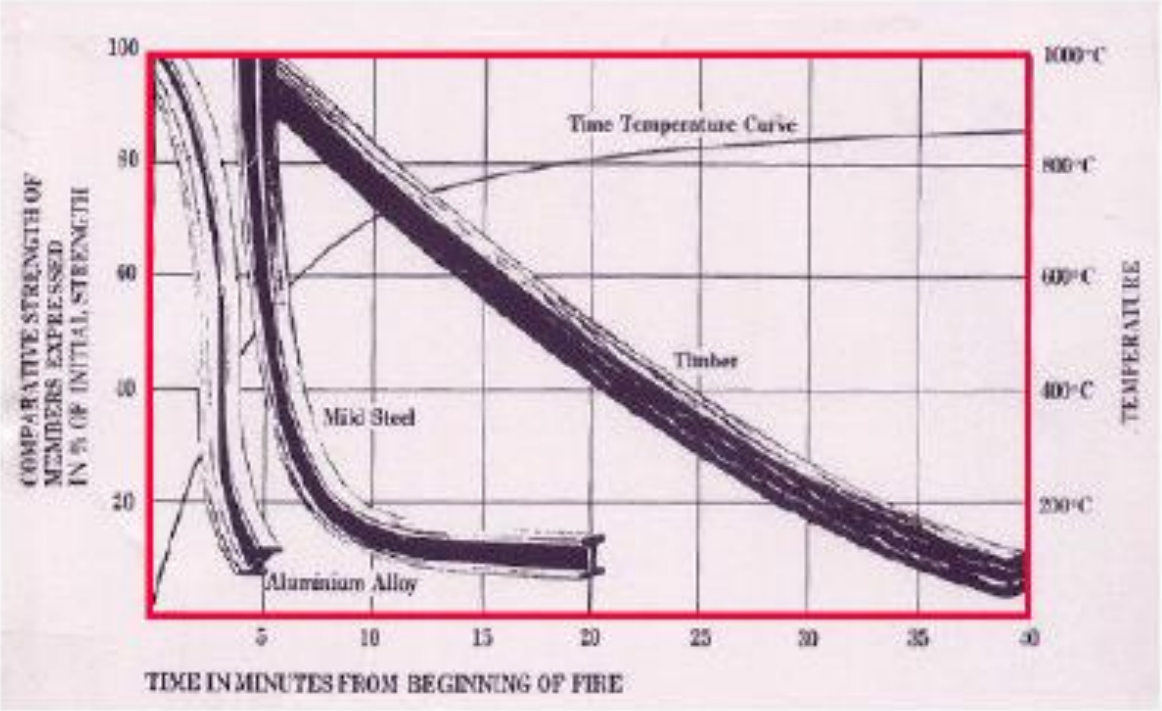
SECAGEM AO AR LIVRE

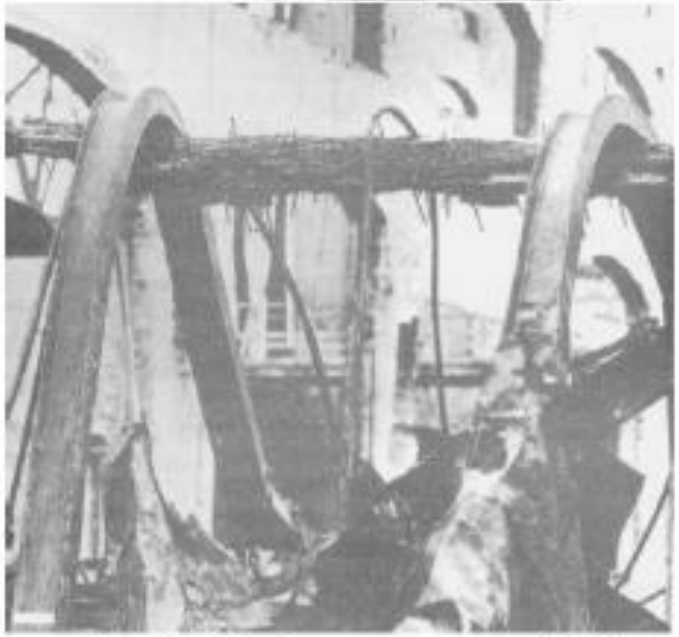
SECAGEM POR MICROONDAS

Carbonização da Madeira

Zonas de degradação na seção da madeira exposta ao fogo



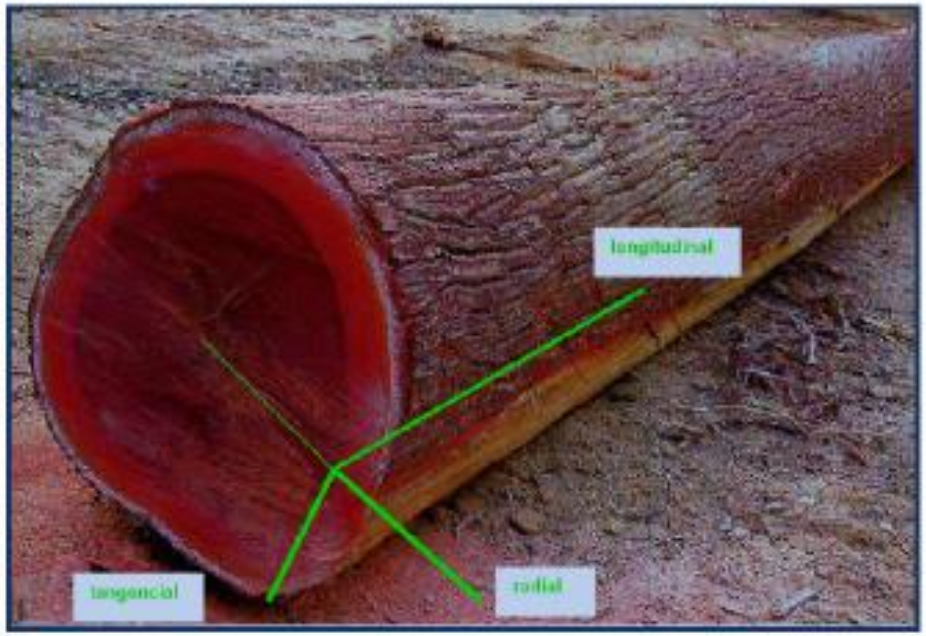


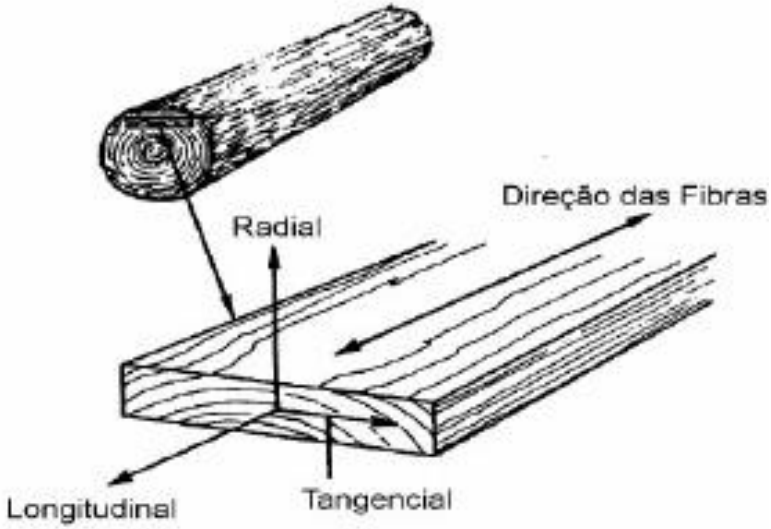


Comportamento Estrutural da madeira

A MADEIRA APRESENTA TRÊS DIREÇÕES PRINCIPAIS

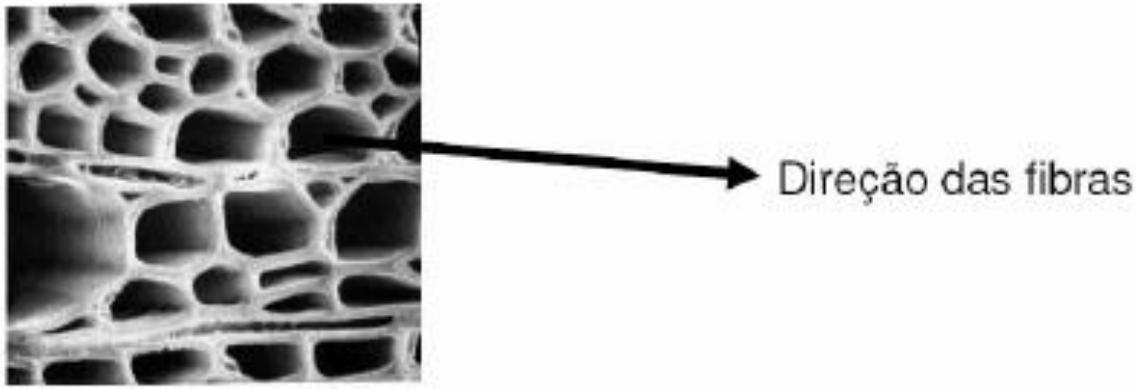
- Longitudinal
- Radial
- Tangencial

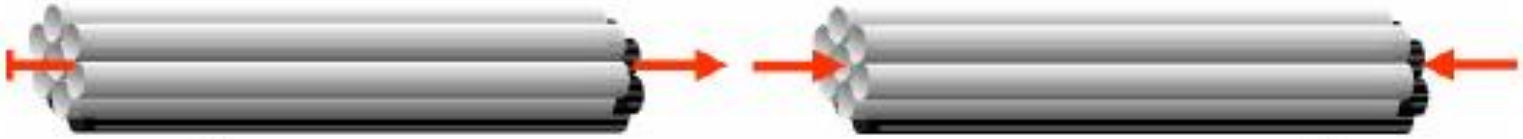




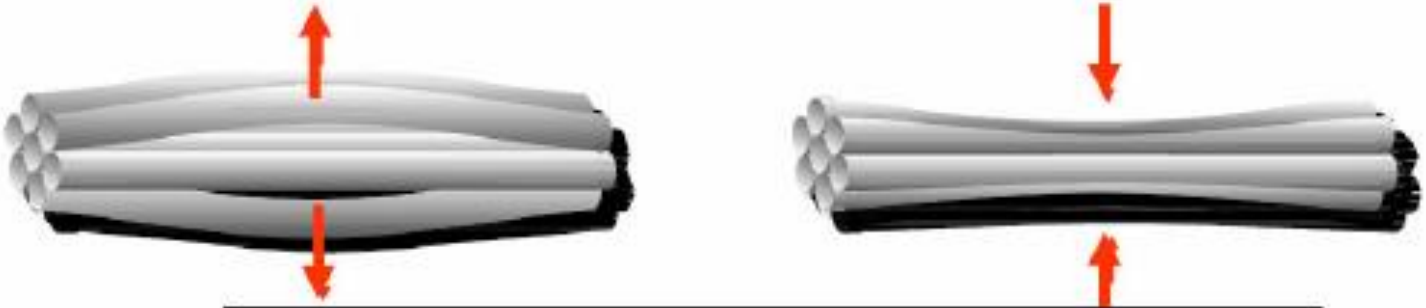
Apresenta três planos ortogonais de simetria física, ou seja, a madeira pode ser considerada como um material ortotrópico.

Comportamento Estrutural da madeira





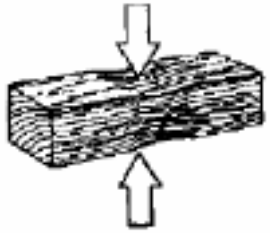
Excelente resistência e rigidez na direção paralela às fibras



Pouca resistência e rigidez na direção normal às fibras

COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

- Alta resistência e rigidez
- Ruptura dá-se por perda de estabilidade
- Comportamento elasto-plástico (pode ser frágil)
- Ordem de grandeza resistência: 30 a 80 MPa (carac.)
- Ordem de grandeza rigidez: 8000 a 25000 MPa (carac.)



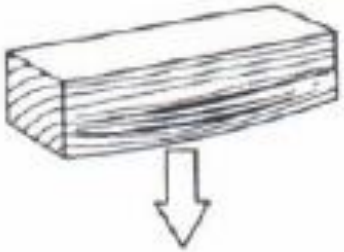
COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS

- Baixa resistência e rigidez
- Ruptura dá-se por esmagamento (convencional)
- Comportamento elasto-plástico (altamente plástico)
- Ordem de grandeza resistência: 7 a 20 MPa (característica) (1/4)
- Ordem de grandeza rigidez: 400 a 1250 MPa (1/20)

TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

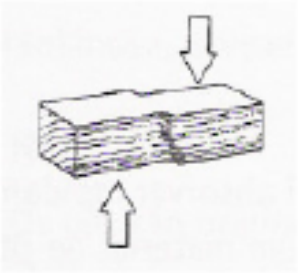
- Alta resistência e rigidez
- Ruptura dá-se por deslizamento ou ruptura das fibras
- Comportamento elasto-frágil
- Ordem de grandeza resistência: 50 a 150 MPa (característica)
- Ordem de grandeza rigidez: 10000 a 35000 MPa (característica)

TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS



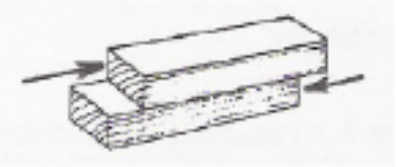
- Baixa resistência (evitar)
- Ruptura dá-se separação das fibras
- Comportamento elasto-frágil
- Ordem de grandeza resistência: até 4 MPa

CISALHAMENTO NORMAL ÀS FIBRAS



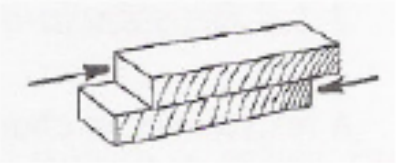
- Baixa resistência e rigidez
- Ruptura dá-se por compressão normal (convencional)
- Comportamento elasto-plástico
- Ordem de grandeza resistência: idem comp. normal

CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS



- Baixa resistência e alta rigidez
- Ruptura dá-se por deslizamento como trac.
- Comportamento elasto-frágil
- Ordem de grandeza resistência: 4 a 10 MPa (característica) (1/8)

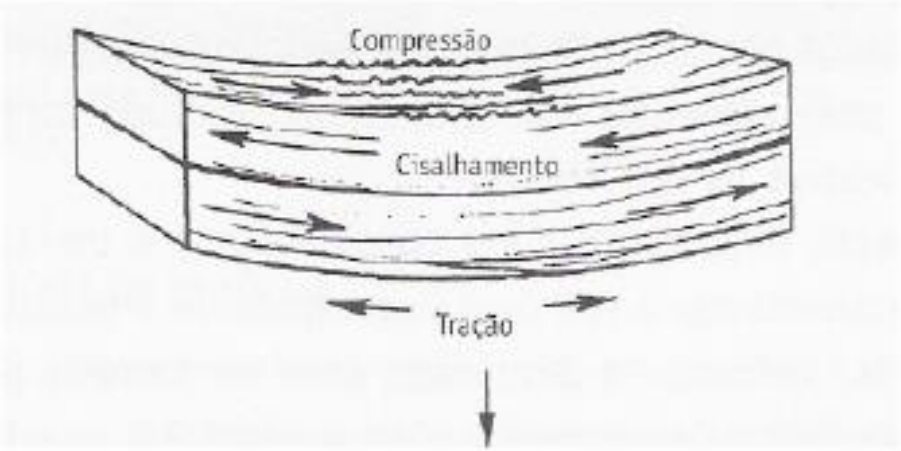
CISALHAMENTO ROLLING



- Baixa resistência e alta rigidez
- Ruptura dá-se por rolamento (evitar)

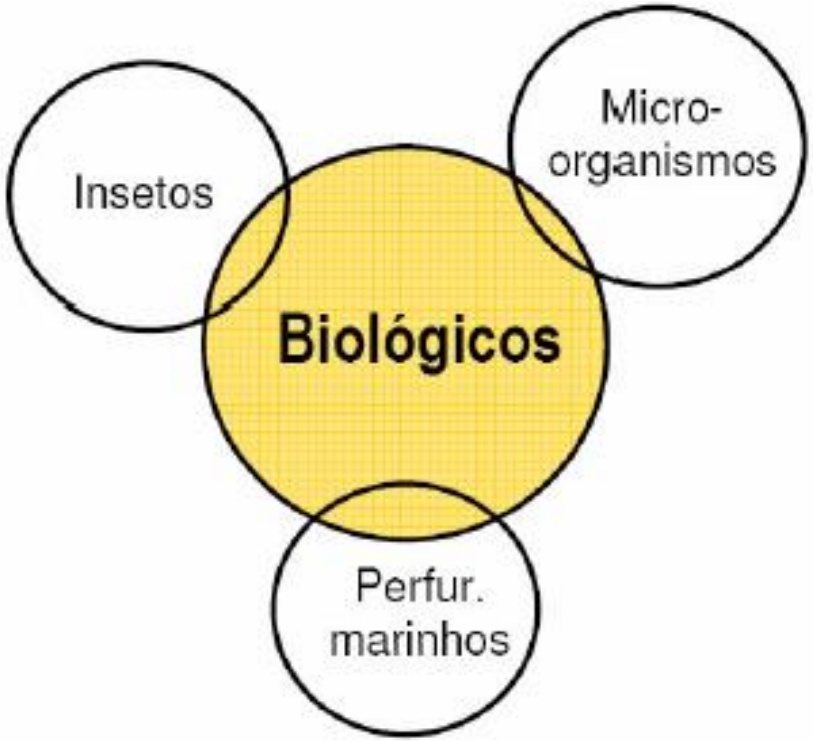
FLEXÃO SIMPLES

- Combinação de compressão, tração e cisalhamento
- Alta resistência e rigidez
- Mecanismo de ruptura (plastificação à compressão)
- Diferença entre entre o comportamento real e o idealizado
- Ordem de grandeza resistência: 50 a 150 MPa (idem tração paralela)
- Ordem de grandeza da rigidez: 7000 a 22000 MPa (0,85 a 0,9 da comp.)



Durabilidade da Madeira

Agentes de Degradação:



Agentes Biológicos:

Microorganismos (Bactérias e Fungos)

Condições para desenvolvimento: umidade, oxigênio, temperatura amena (22 a 30 C).

Insetos (cupins, brocas e formigas)

Diversas espécies de cupins, divididas em cupins de solo e cupins de madeira seca.

Perfuradores marinhos (Moluscos e Crustáceos)

Peças submersas

FUNGOS EMBOLORADORES E MANCHADORES

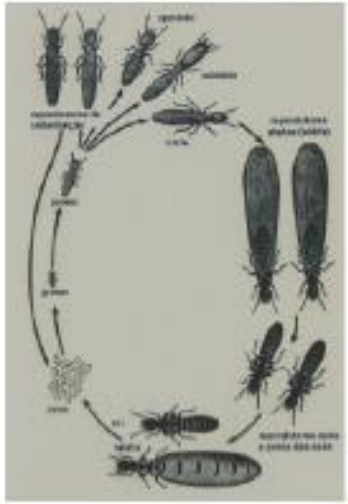
FUNGOS APODRECEDORES

PODRIDÃO BRANCA

PODRIDÃO PARDA

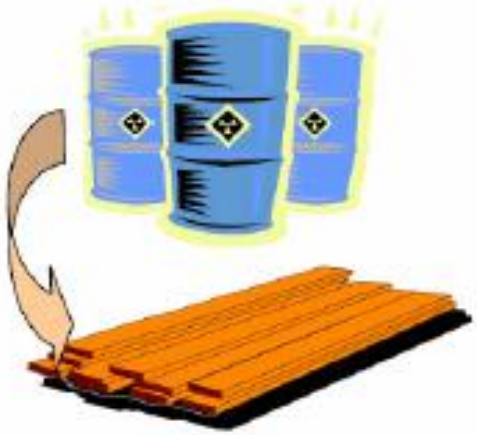
PODRIDÃO MOLE

CUPINS (TÉRMITAS)



BROCAS DE MADEIRA

Durabilidade da Madeira - Tratamentos

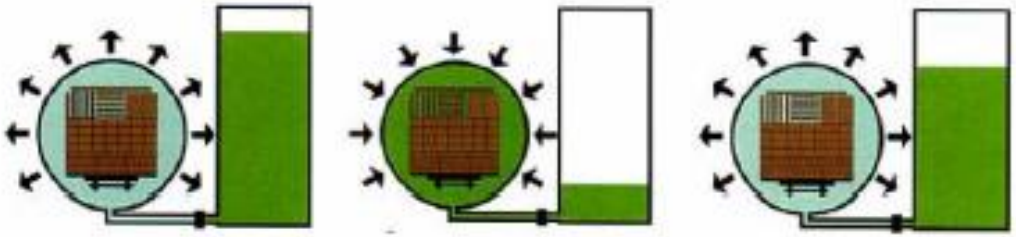


TIPOS

- Pincelamento
- Imersão
- Pulverização
- Autoclave

PRODUTOS

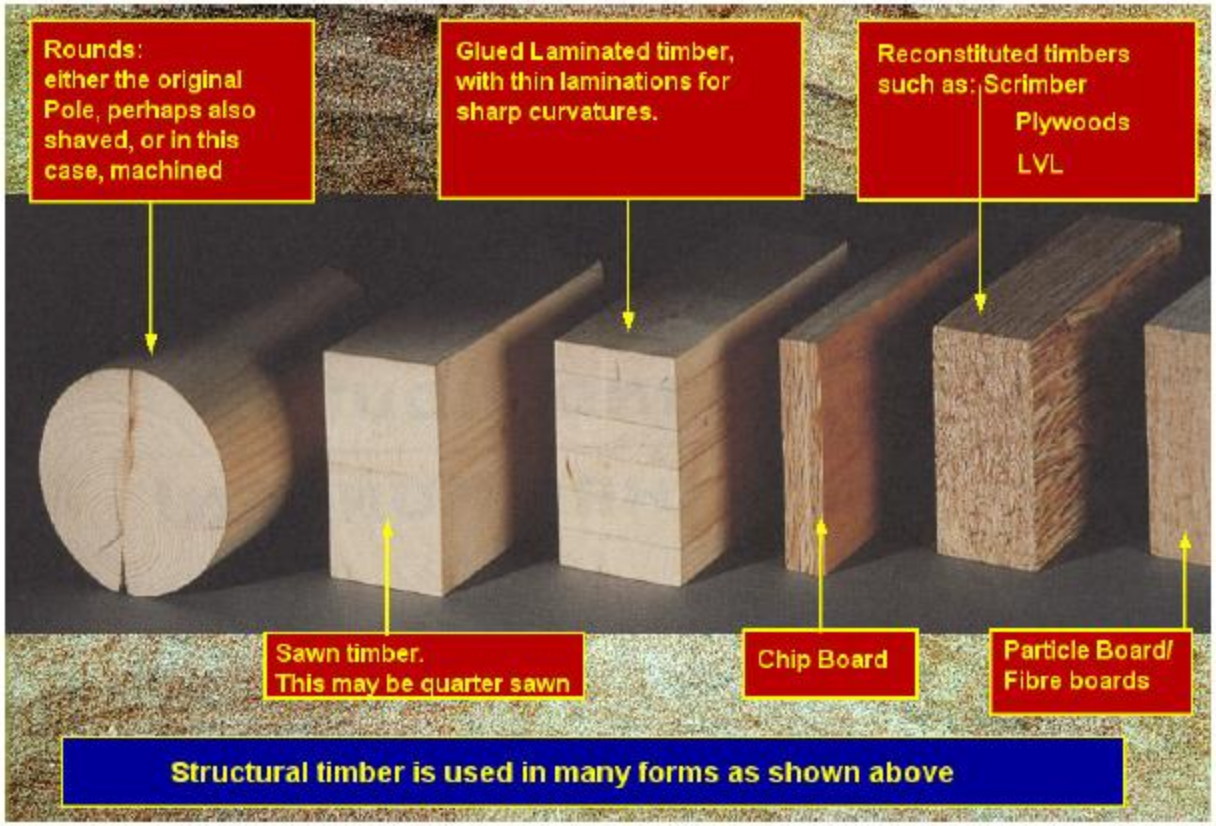
- CCB
- ~~Creosoto~~
- CCA



Exercícios Propostos

1) Qual madeira é de melhor qualidade, a juvenil ou a adulta?
2) Qual madeira é de melhor qualidade, o cerne ou o auburno?
3) Desenhe um cubo de madeira e ilustre os anéis de crescimento e as três direções principais da madeira.
4) Defina ponto de saturação das fibras.
5) Por que a madeira deve passar por um período de secagem antes de ser utilizada em construções?
6) Utilizando o diagrama de Kollmann, estimar a densidade aparente, a 12% de umidade, de uma amostra de madeira para a qual Dap = 0,70 g/cm3 a 25% de umidade.
7) Porque as propriedades mecânicas da madeira são diferenciadas em paralela e normal às fibras? Em qual direção encontramos os maiores valores das propriedades? Explique.

3 – Elementos Estruturais Derivados da Madeira



A MADEIRA ROLIÇA

LOCAL DE COMERCIALIZAÇÃO

- Usinas de tratamento de postes/ mourões
- Madeireiras

DIMENSÕES

- 5 a 40 cm de diâmetro
- 1,5 a 15 m de comprimento

PRINCIPAL ESPÉCIE

- Eucalipto

TRATAMENTO

- CCA em autoclave (indispensável)

USOS

- Vigas, pilares e estacas

A MADEIRA SERRADA

DESDOBRO EM SERRARIAS

LOCAL DE COMERCIALIZAÇÃO

- Madeireiras ou serrarias

DIMENSÕES

DIMENSÕES DE PEÇAS DE MADEIRA SERRADA

Nomenclatura	Dimensões (cm)	
	Padronização (PB-5)	Comerciais
Ripas	1,2 x 5,0	1,0 x 5
		1,5 x 5
		1,5 x 10
		2,0 x 5
Tábuas	2,5 x 11,5	1,9 x 10 – 1,9 x 30
	2,5 x 15,0	2,5 x 10 – 2,5 x 30
	2,5 x 23,0	
Sarrafos	2,2 x 7,5	2,0 x 10
	3,8 x 7,5	2,5 x 10
		3,0 x 15
Caibros	5,0 x 6,0	5,0 x 5
	5,0 x 7,0	5,0 x 6
	7,5 x 5,0	6,0 x 6
	7,5 x 7,5	7,0 x 7
Vigas	5,0 x 15,0	5,0 x 16
	5,0 x 20,0	6,0 x 12
	7,5 x 11,5	6,0 x 15
	7,5 x 15,0	6,0 x 16
	15,0 x 15,0	10,0 x 10
		12,0 x 12
		20,0 x 20
		25,0 x 25
		25,0 x 30
Pranchões	7,5 x 23,0	3,0 x 30
	10,0 x 20,0	4,0 x 20 até 40
	15,0 x 23,0	6,0 x 20 até 30
		9,0 x 30

ESPÉCIES MAIS UTILIZADAS

- Itaúba, Angelim, Ipê, Jatobá, Maçaranduba e Champagne (alta densidade)
- Cupiúba, Garapa, Eucalipto (média densidade)
- Cedrinho, Cambará, Araucária e Pinus (baixa densidade)

TRATAMENTO	USO
- Pincelamento para nativas	- Geral
- CCA em autoclave para reflorestadas	

DERIVADOS DE MADEIRA

CLASSIFICAÇÃO

a) Lâminas
Chapa de madeira Compensada (PW – Plywood)
Chapa de madeira Sarrafeada (BB – Blockboard)
Peça Micro-laminada (LVL – Laminated Veneer Lumber)
Madeira Laminada Colada (MLC – Glulam)

b) Partículas
Chapa de Madeira Aglomerada (PB – Particleboard)
Chapa de Flocos Orientados (OSB - Oriented Strandboard)
Chapa de Flocos Não-orientados (WB - Waferboard)
Peça de Ripas Paralelas (PSL – Parallel Strand Lumber)
Peça de Flocos Orientados (OSL – Oriented Strand Lumber)

c) Fibras
Chapa Isolante (IB – Insulating Board)
Chapa Dura (HB – Hardboard)
Chapa de Média Densidade
(MDF – Medium Density Fiberboard)

TABELA 1 - Áreas de utilização dos produtos à base de madeira.

Produtos		Indústria Moveleira	Construção Civil			
			Fôrmas de Concreto	Painéis e Pisos	Estruturas Leves *	Estruturas Pesadas **
Fibras	MDF	X		X		
	IB	X		X		
	HB	X		X		
Partículas	PB	X		X		
	WB	X		X		
	OSB	X		X	X	
Lâminas	PW	X	X	X	X	X
	LVL	X		X	X	X
	MLC	X			X	X

* Indicam elementos estruturais de pequeno a médio porte com aplicação residencial (pequenos vãos), tipo vigas I.
** Indicam elementos estruturais de grande porte (grandes vãos) com aplicação em complexos esportivos, centros de convenções, pontes, etc.

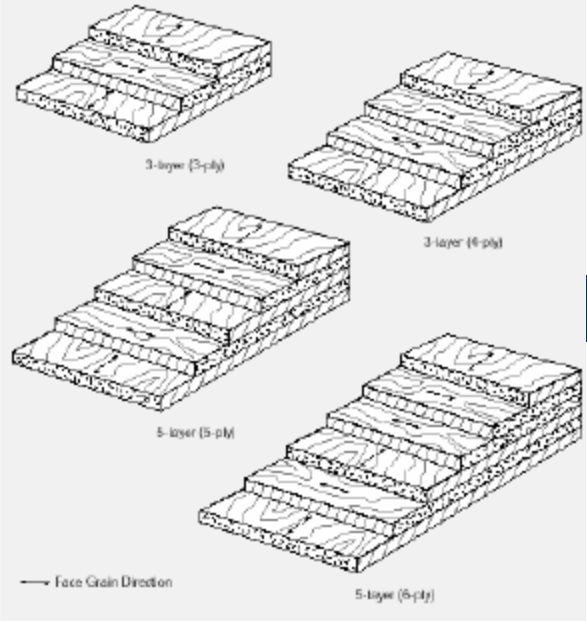
PORQUE UTILIZAR DERIVADOS EM ESTRUTURAS?

- Produtos industrializados tem melhor controle de qualidade
- Melhor estabilidade dimensional
- Homogeneidade e defeitos reduzidos
- Melhores propriedades mecânicas
- As indústrias indicam as propriedades e recomendações de uso
- Variedade de formas, dimensões e composições
- As árvores podem ser de menores diâmetros
- Aproveitamento de quase 100% do lenho
- Grande emprego de madeiras de reflorestamento
- Produtos ecologicamente corretos com sólido mercado consumidor
- O Brasil possui grande tradição na produção de laminados

O COMPENSADO

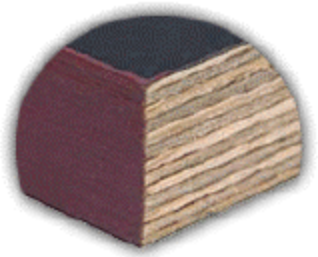
CARACTERÍSTICAS

A laminação cruzada confere boa estabilidade dimensional e excelente resistência e rigidez ao cisalhamento



TIPOS MAIS COMUNS

- Simples
- Resinado
- Plastificado
- Naval



DIMENSÕES

- Uso geral: 1,60 X 2,20 m (3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 25 e 30 mm)

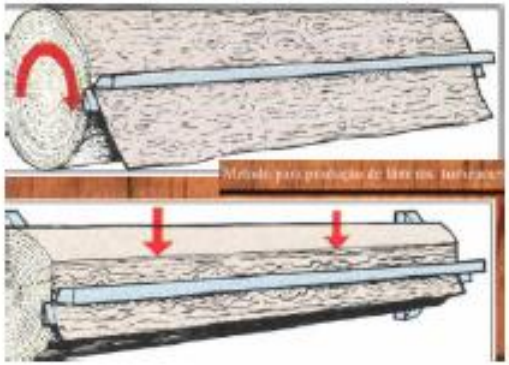
-Formas para concreto: 1,10 x 2,20 m (6, 10, 12, 14, 17 e 20 mm)

1,22 x 2,44 m (idem)

O COMPENSADO

ETAPAS DE PRODUÇÃO

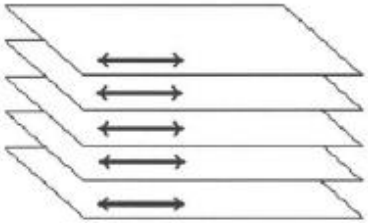
- Obtenção das toras
- Preparo da tora
- Obtenção das lâminas
- Secagem e classificação das lâminas
- Junção das lâminas e remoção dos defeitos
- Colagem dos painéis
- Prensagem
- Acabamento



O LVL

CARACTERÍSTICAS

A laminação na mesma direção confere maior resistência que a madeira maciça

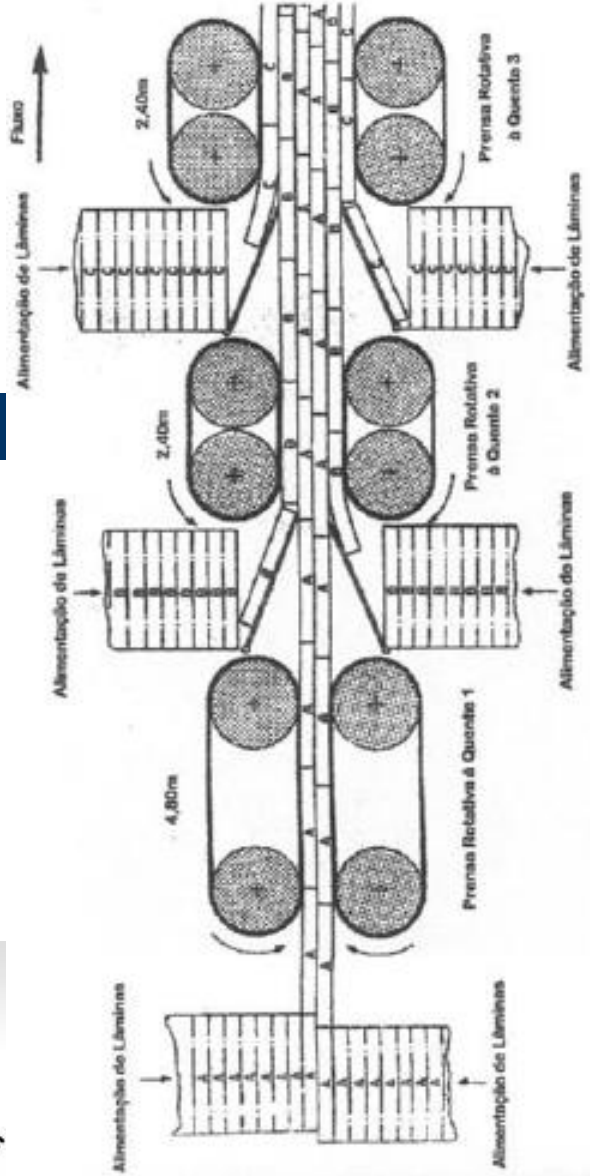


ETAPAS DE PRODUÇÃO

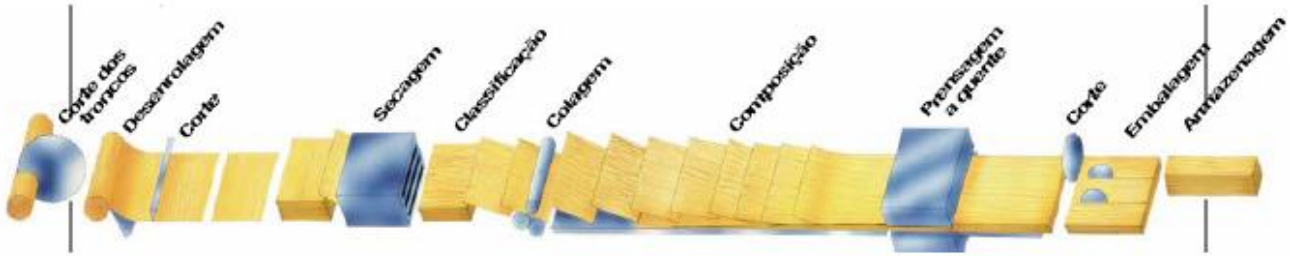
- Prensagem em esteira contínua

DIMENSÕES

- esp: 2,7 a 7,5 cm
- altura: até 1,8 m
- comp: até 26 m



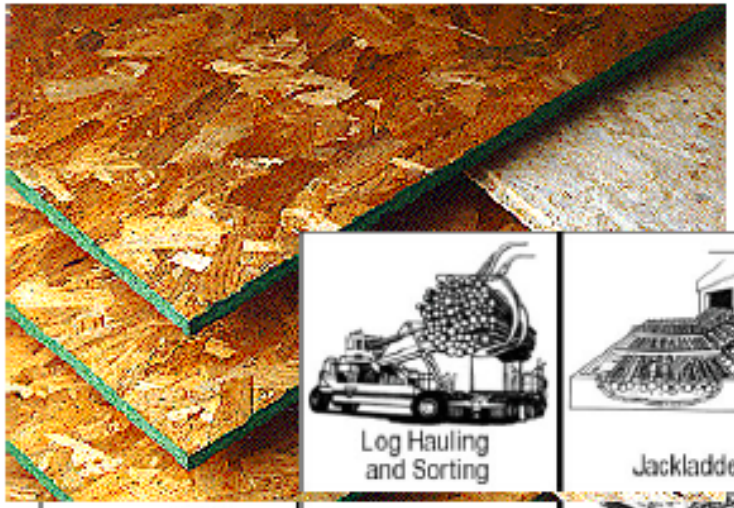
O LVL



O OSB

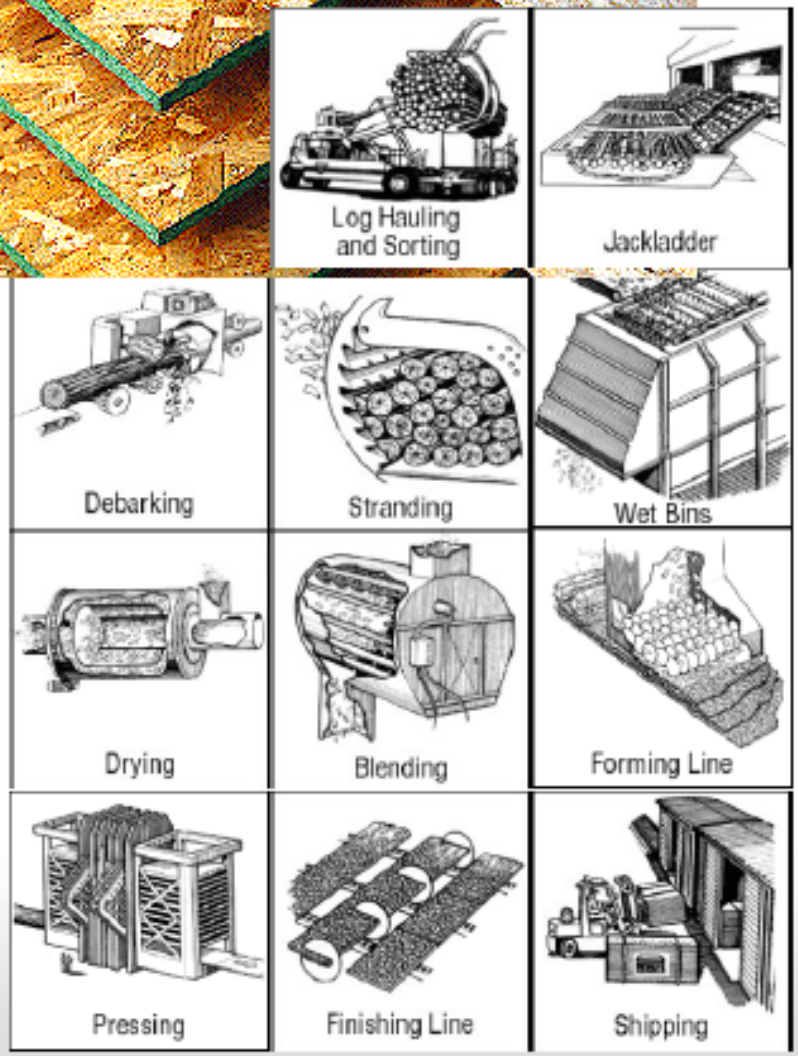
CARACTERÍSTICAS

Cavacos orientados em camadas cruzadas confere resistência compatível com a do compensado



ETAPAS DE PRODUÇÃO

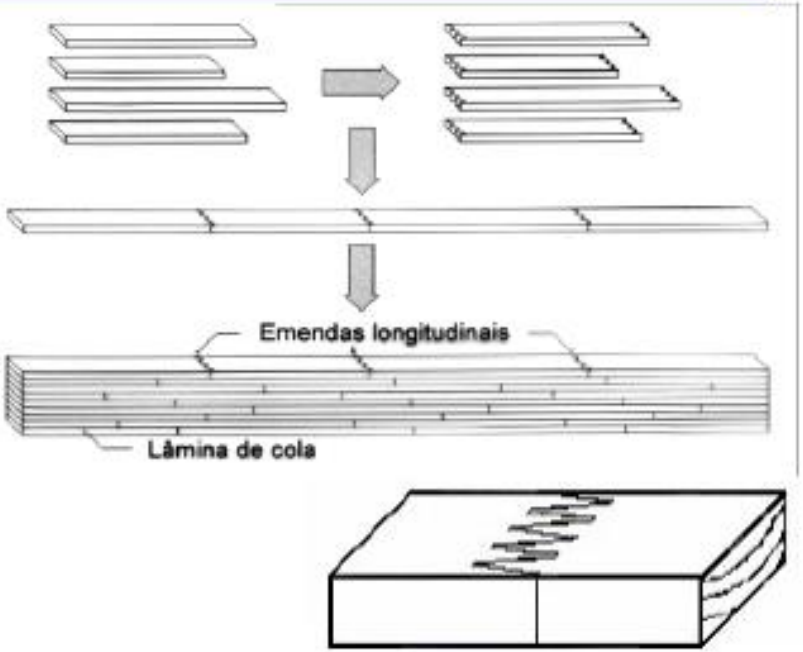
- Obtenção das toras e condicionamento
- Descascamento
- Geração das partículas
- Estocagem das partículas úmidas
- Secagem
- Classificação por peneiras
- Mistura dos componentes do colchão
- Formação do colchão
- Prensagem a quente
- Acabamentos



MLC

CARACTERÍSTICAS

Lâminas de madeira serrada coladas com adesivo à prova d´água

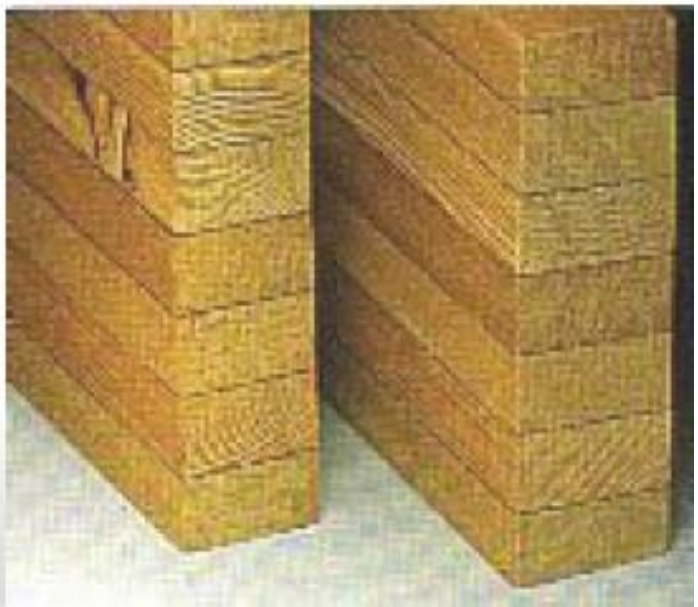


VANTAGENS

- Peças de grandes dimensões
- Eliminação de defeitos
- Disposição seletiva das lâminas
- Variedade de formas e dimensões

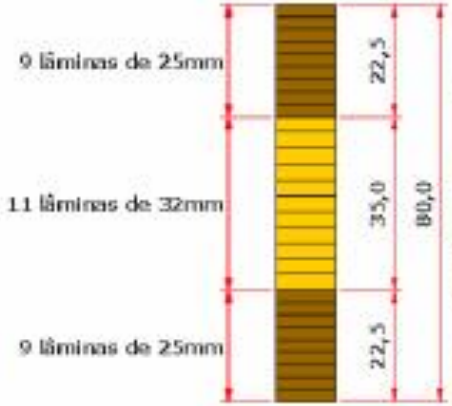
DESVANTAGENS

- Custo elevado
- Pouca disponibilidade no mercado

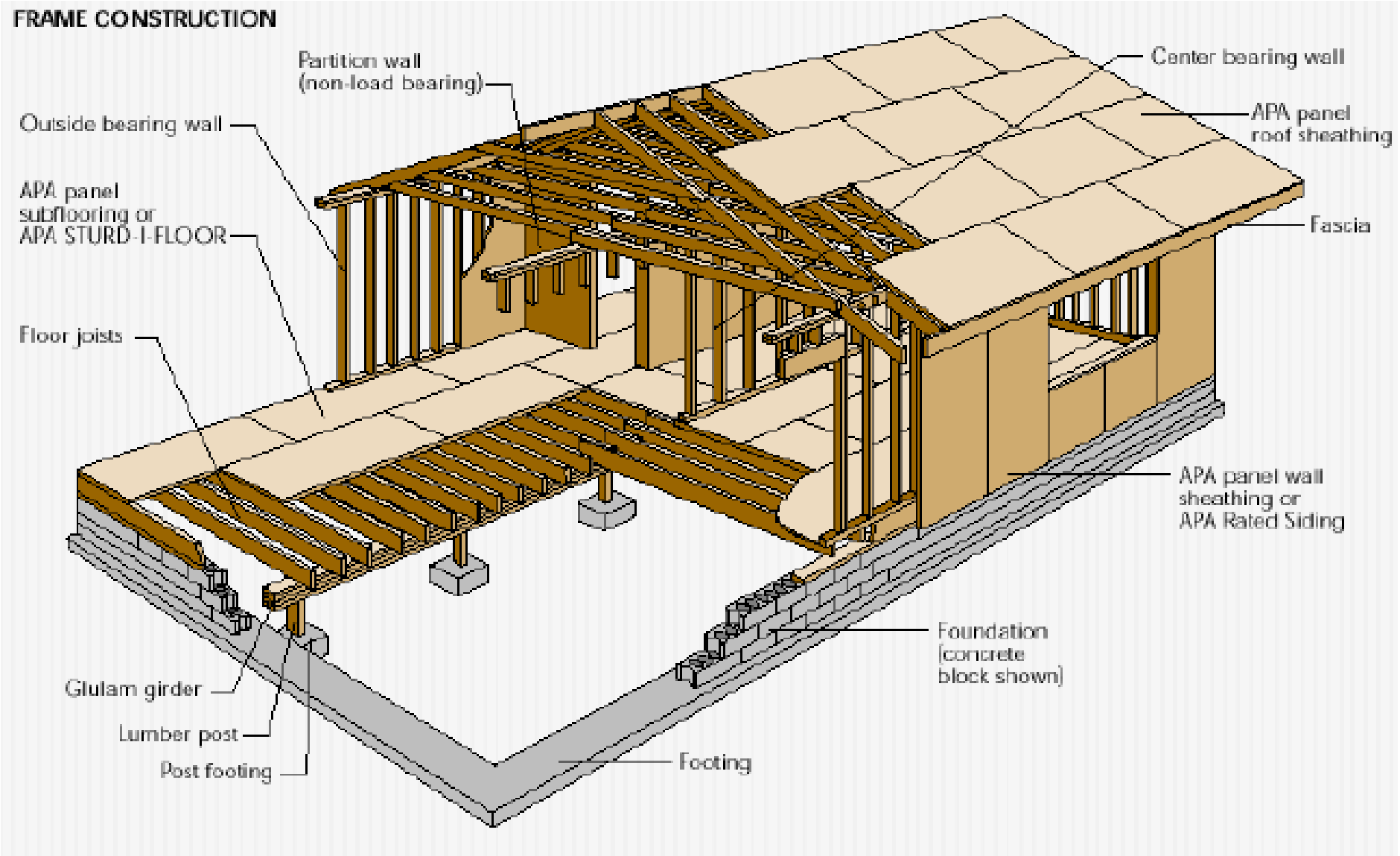


ETAPAS DE PRODUÇÃO

- Classificação das lâminas
- Montagem das lâminas
- Disposição seletiva das lâminas
- Colagem e prensagem das lâminas



APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1) Como é feito o tratamento de espécies nativas e de reflorestamento?

2) Quais os produtos preservantes mais utilizados?

3) Quais as vantagens de se utilizar os derivados de madeira em estruturas?

4) O que caracteriza a madeira compensada?

5) Por que o LVL possui maior resistência do que a madeira serrada?

6) Quais as aplicações do OSB?

7) Quais as vantagens e desvantagens do uso da MLC?

5 - A NORMA NBR 7190/1997
Projeto de Estruturas de Madeira

NBR 7190/1997

1 – Objetivo

2 – Referências normativas

3 – Generalidades

4 – Hipóteses básicas de segurança

5 – Ações

6 – Propriedades das madeiras

7 – Dimensionamento

8 – Ligações

9 – Estados limites de utilização

10 – Disposições construtivas

Anexo A – Desenho de estruturas de madeira

Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras

Anexo C – Determinação das resistências das ligações

Anexo D – Recomendações sobre a durabilidade das madeiras

Anexo E – Valores médios usuais de algumas espécies

Anexo F – Esclarecimentos sobre a calibração desta norma

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA

ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

$$S_d \leq R_d$$

S_d = valores de cálculo dos esforços atuantes
R_d = valores de cálculo dos esforços resistentes

ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO

$$S_d \leq S_{lim}$$

S_d = valores de cálculo dos efeitos estruturais de interesse
S_{lim} = valores limites adotados para esses efeitos

- CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS
- CLASSES DE RESISTÊNCIA
- COEFICIENTES DE COMBINAÇÃO DAS AÇÕES
- COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO
- PEÇAS MACIÇAS COMPRIMIDAS
- PEÇAS COMPOSTAS
- PEÇAS MÚLTIPLAS COMPRIMIDAS
- DURABILIDADE
- RESISTÊNCIA AO FOGO
- PONTES

Nova publicação em 2009

COMBINAÇÕES DE AÇÕES EM ELU

COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

$$F_d = \sum_{i=1}^{m} \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^{n} \psi_{oj} F_{Qj,k} \right]$$

COMBINAÇÕES ÚLTIMAS ESPECIAIS OU DE CONSTRUÇÃO

COMBINAÇÕES ÚLTIMAS EXCEPCIONAIS

COMBINAÇÕES DE AÇÕES EM ELS

COMBINAÇÕES QUASE PERMANENTES DE SERVIÇO

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^{m} F_{Gi,k} + \sum_{j=2}^{n} \psi_{2j} . F_{Qj,k}$$

COMBINAÇÕES FREQÜENTES DE SERVIÇO

COMBINAÇÕES RARAS DE SERVIÇO

Tabela 1 - Coeficientes de Ponderação (γ_g) para ações permanentes diretas, consideradas separadamente (NBR 8681:2003)

Combinação	*Tipo de Ação*	*Efeito*	
		Desfav.	*Fav.*
Normal	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados [1]	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições *in loco*	1,40	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos [2]	1,50	1,0
Especial ou de Construção	Peso próprio de estruturas metálicas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,20	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados [1]	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições *in loco*	1,30	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos [2]	1,40	1,0
Excepcional	Peso próprio de estruturas metálicas	1,10	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados [1]	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições *in loco*	1,20	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos [2]	1,30	1,0

[1] Por exemplo: paredes e fachadas pré-moldadas, gesso acartonado.
[2] Por exemplo: paredes de alvenaria e seus revestimentos, contrapiso.

MADEIRA

γ_g = 1,3 ou 1,4

Recomendação:

Usar γ_g = 1,4

Tabela 3 - Coeficientes de Ponderação (γ_g) para ações permanentes indiretas: recalque de apoio e retrações (NBR 8681:2003)

Combinação	*Efeito*	
	Desfavorável	*Favorável*
Normal	1,2	0
Especial ou de Construção	1,2	0
Excepcional	0	0

Tabela 4 - Coeficientes de Ponderação (γ_q) para ações variáveis, consideradas separadamente (NBR 8681:2003)

Combinação	*Tipo de Ação*	*Coeficientes de ponderação*
Normal	Ações Truncadas [1]	1,2
	Efeito de temperatura	1,2
	Ação do vento	1,4
	Ações variáveis em geral	1,5
Especial ou de Construção	Ações Truncadas [1]	1,1
	Efeito de temperatura	1,0
	Ação do vento	1,2
	Ações variáveis em geral	1,3
Excepcional	Ações variáveis em geral	1,0

[1] Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não pode superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta tabela se aplica a essa valor limite.

Tabela 6 – Valores dos fatores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para ações variáveis (NBR 8681:2003)

Ações	ψ_0	ψ_1	ψ_2 [3],[4]
Cargas acidentais de edifícios			
Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longo período de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas [1];	0,5	0,4	0,3
Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longo período de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas [2];	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens.	0,8	0,7	0,6
Vento			
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura			
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos			
Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
Pontes ferroviárias não especializadas	0,8	0,7	0,5
Pontes ferroviárias especializadas	1,0	1,0	0,6
Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5

[1] Edificações residenciais, de acesso restrito.
[2] Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.
[3] Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar $\psi_2 = 0$.
[4] Para combinações excepcionais onde a ação principal for fogo, admite-se adotar $0{,}7\psi_2$.

RESISTÊNCIAS

A resistência é a aptidão da matéria de suportar tensões. É determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrições de emprego do material em elementos estruturais

- Compressão paralela às fibras
- Compressão normal às fibras
- Tração paralela às fibras
- Tração normal às fibras
- Cisalhamento paralelo às fibras
- Embutimento paralelo às fibras
- Embutimento normal às fibras
- Densidade aparente

CARACTERIZAÇÃO SIMPLIFICADA

$f_{c90,k} = 0,25.\ f_{c0,k}$

$f_{t0,k} = 1,30.\ f_{c0,k}$

$f_{v0,k} = 0,15.\ f_{c0,k}$ para coníferas

$f_{v0,k} = 0,12.\ f_{c0,k}$ para dicotiledôneas

$f_{e0,k} = f_{c0,k}$

$f_{e90,k} = 0,25.\ f_{c0,k}$

RESISTÊNCIA MÉDIA

Tabela E.1 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap\,(12\%)}$ [1] kg/m³	f_{c0} [2] MPa	f_{t0} [3] MPa	f_{t90} [4] MPa	f_v [5] MPa	E_{c0} [6] MPa	[7] n
Angelim araroba	*Votaireopsis araroba*	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15
Angelim ferro	*Hymenolobium spp*	1 170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20
Angelim pedra	*Hymenolobium petraeum*	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39
Angelim pedra verdadeiro	*Dinizia excelsa*	1 170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694	12
Branquilho	*Termitalia spp*	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481	10
Cafearana	*Andira spp*	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11
Canafistula	*Cassia ferruginea*	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12
Casca grossa	*Vochysia spp*	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16224	31
Castelo	*Gossypiospermum praecox*	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12
Cedro amargo	*Cedrella odorata*	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21
Cedro doce	*Cedrella spp*	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10
Champagne	*Dipterys odorata*	1 090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002	12
Cupiúba	*Goupia glabra*	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33
Catiúba	*Qualea paraensis*	1 221	83,8	86,2	3,3	11,1	19426	13
E. Alba	*Eucalyptus alba*	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24
E. Camaldulensis	*Eucalyptus camaldulensis*	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286	18
E. Citriodora	*Eucalyptus citriodora*	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421	68
E. Cloeziana	*Eucalyptus cloeziana*	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963	21
E. Dunnii	*Eucalyptus dunnii*	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15
E. Grandis	*Eucalyptus grandis*	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813	103
E. Maculata	*Eucalyptus maculata*	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099	53
E. Maidene	*Eucaliptus maidene*	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10
E. Microcorys	*Eucalyptus microcorys*	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16782	31
E. Peniculata	*Eucalyptus paniculata*	1 087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881	29
E. Propinqua	*Eucalyptus propinqua*	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561	63
E. Puncteta	*Eucalyptus puncteta*	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360	70

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap\,(12\%)}$ 1) kg/m³	f_{c0} 2) MPa	f_{t0} 3) MPa	f_{t90} 4) MPa	f_v 5) MPa	E_{c0} 6) MPa	7) n
E. Saligna	*Eucalyptus saligna*	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14 933	67
E. Tereticornis	*Eucalyptus tereticornis*	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17 198	29
E. Trianthe	*Eucalyptus trianthe*	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14 617	08
E. Umbra	*Eucalyptus umbra*	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14 577	08
E. Urophylla	*Eucalyptus urophylla*	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13 166	86
Garapa Roraima	*Apuleia leiocarpa*	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18 359	12
Guaiçara	*Luetzelburgia spp*	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14 624	11
Guarucaia	*Peltophorum vogelianum*	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17 212	13
Ipê	*Tabebuia serratifolia*	1 068	76,0	96,8	3,1	13,1	18 011	22
Jatobá	*Hymenaea spp*	1 074	93,3	157,5	3,2	15,7	23 607	20
Louro preto	*Ocotea spp*	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14 185	24
Maçaranduba	*Manilkara spp*	1 143	82,9	138,5	5,4	14,9	22 733	12
Mandioqueira	*Qualea spp*	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18 971	16
Oiticica amarela	*Clarisia racemosa*	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14 719	12
Quarubarana	*Erisma uncinatum*	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9 067	11
Sucupira	*Diplotropis spp*	1 106	95,2	123,4	3,4	11,8	21 724	12
Tatajuba	*Bagassa guianensis*	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19 583	10

Tabela E.3 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap\,(12\%)}$ 1) kg/m³	f_{c0} 2) MPa	f_{t0} 3) MPa	f_{t90} 4) MPa	f_v 5) MPa	E_{c0} 6) MPa	7) n
Pinho do Paraná	*Araucaria angustifolia*	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
Pinus caribea	*Pinus caribea var. caribea*	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
Pinus bahamensis	*Pinus caribea var. bahamensis*	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
Pinus hondurensis	*Pinus caribea var. hondurensis*	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
Pinus elliottii	*Pinus elliottii var. elliottii*	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
Pinus oocarpa	*Pinus oocarpa shiede*	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
Pinus taeda	*Pinus taeda L.*	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA

Para ensaios em CPs, usar o estimador seguinte:

O valor característico da resistência deve ser estimado pela expressão

$$f_{wk} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \ldots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1{,}1$$

onde os resultados devem ser colocados em ordem crescente $f_1 \leq f_2 \leq \ldots \leq f_n$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos-de-prova for ímpar, não se tomando para f_{wk} valor inferior a f_1, nem a 0,70 do valor médio.

Para valores obtidos das tabelas de espécies E1, E2 e E3, admitir a relação seguinte:

Neste caso, para o projeto, pode-se admitir a seguinte relação entre as resistências característica e média

$$f_{wk,12} = 0{,}70\, f_{wm,12}$$

Para dimensionamento com classes de resistência, usar as Tabelas 8 e 9

Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	[1] $\rho_{bas,m}$ kg/m³	$\rho_{aparente}$ kg/m³
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

[1] Como definida em 6.1.2.

Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	[1] $\rho_{bas,m}$ kg/m³	$\rho_{aparente}$ kg/m³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

[1] Como definida em 6.1.2.

C 50 50 7 22000 770

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w}$$

f_{wd} = resistência de cálculo

f_{wk} = resistência característica

γ_w = coeficiente de ponderação das resistências

K_{mod} = coeficiente de modificação

COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

$$\gamma_w = \gamma_{w1} \cdot \gamma_{w2} \cdot \gamma_{w3}$$

γ_{w1} = leva em conta a variabilidade da resistência efetiva

γ_{w2} = leva em conta a variabilidade da resistência do laboratório para a obra

γ_{w3} = considera as incertezas na determinação das resistências (modelos adotados)

Para ELU: γ_{wc} = 1,4 (compressão)

γ_{wt} = 1,8 (tração)

γ_{wv} = 1,8 (cisalhamento)

Para ELS: γ_w = 1,0

COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$$

k_{mod1} = leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material (Tabela 10)

k_{mod2} = leva em conta a classe de umidade e o tipo de material (Tabela 11)

k_{mod3} = leva em conta a classificação da madeira (1,0 para madeira de 1a categoria)

(0,8 para madeira de 2a categoria)

Tabela 10 - Valores de $k_{mod,1}$

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Tabela 11 - Valores de $k_{mod,2}$

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Tabela 7 - Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

RIGIDEZ EFETIVA

$$E_{c0,ef} = k_{mod} \cdot E_{c0,m}$$

$E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela

K_{mod} = coeficiente de modificação

$E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade médio à compressão paralela

CARACTERIZAÇÃO SIMPLIFICADA

$E_{c90} = 0{,}05 \,.\, E_{c0}$

$G = 0{,}05 \,.\, E_{c0}$

$E_M = 0{,}85.\ E_{c0}$ para coníferas

$E_M = 0{,}90.\ E_{c0}$ para dicotiledôneas

7 -DIMENSIONAMENTO (tração, compressão, cisalhamento e flexão)

Dimensões mínimas das seções transversais:

- peças principais - A > 50 cm2 e b > 5 cm
- peças secundárias - A > 18 cm2 e b > 2,5 cm
- peças principais múltiplas – A > 35 cm2 e b > 2,5 cm
- peças secundárias múltiplas - A > 18 cm2 e b > 1,8 cm

Diâmetros mínimos de pinos e cavilhas:

- pregos - 3 mm
- parafusos - 10 mm
- cavilhas - 16 mm
- mínimo de 2 pinos por ligação

Dimensões mínimas das arruelas:

- diâmetro - 3d
- espessura - e > 4 mm nas pontes
  - e > 3 mm (outras)

Espessura mínima das chapas de aço:

- espessura - e > 9 mm nas pontes
  - e > 6 mm (outras)

Esbeltez máxima:

- peças comprimidas - $L_0 < 40.h$
- peças tracionadas - $L_0 < 50.h$

ELEMENTOS TRACIONADOS

TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Em peças tracionadas com esforço paralelo às fibras a condição de segurança é dada por:

$$\sigma_{t0d} \leq f_{t0d}$$

σ_{t0d} = tensão solicitante de projeto
f_{t0d} = tensão resistente de projeto

Obs: a tensão solicitante de projeto deve ser calculada considerando a área líquida da seção, sendo descontadas as áreas projetadas dos furos e entalhes executados na madeira para a instalação dos elementos de ligação.

TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS

Não se considera a resistência a tração normal às fibras para fins de projeto estrutural

TRAÇÃO INCLINADA EM RELAÇÃO ÀS FIBRAS

Eq. de Hankinson

$$f_{t\alpha} = \frac{f_{t0} f_{t90}}{f_{t0}\, sen^2(\alpha) + f_{t90} \cos^2(\alpha)}$$

ELEMENTOS CURTOS COMPRIMIDOS

COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Em peças curtas submetidas à compressão axial o critério de segurança é dado por:

$$\sigma_{c0d} \leq f_{c0d}$$

σ_{c0d} = tensão solicitante de projeto
f_{c0d} = tensão resistente de projeto

COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS

Nas peças submetidas à compressão normal às fibras, a segurança é garantida por:

$$\sigma_{c90d} \leq f_{c90d}$$

σ_{c90d} = tensão solicitante de projeto
f_{c90d} = tensão resistente de projeto

$$f_{c90d} \leq 0{,}25 . f_{c0d} . \alpha_n$$

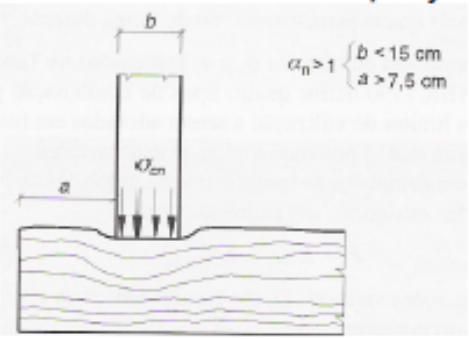


Tabela 13 - Valores de α_n

Extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente a estas cm	α_n
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

COMPRESSÃO INCLINADA EM RELAÇÃO ÀS FIBRAS

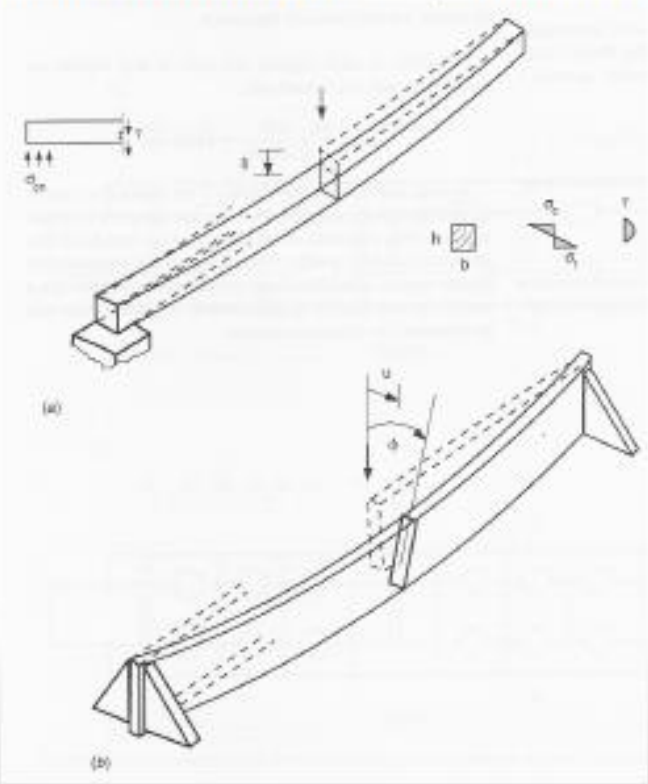
Eq. de Hankinson

$$f_{c\alpha} = \frac{f_{c0} f_{c90}}{f_{c0}\, sen^2(\alpha) + f_{c90} \cos^2(\alpha)}$$

VIGAS

As vigas fletidas estão sujeitas a tensões normais de tração e compressão paralela às fibras e de tensões cisalhantes na direção normal e paralela às fibras. Além disso, estão submetidas a tensões de compressão normal nas regiões de aplicação de carga e nos apoios.

As vigas altas e esbeltas podem sofrer flambagem lateral, reduzindo a capacidade resistente à flexão.



<u>Verificação dos Estados Limites Últimos (ELU):</u>

Tensão normal máxima no bordo comprimido

Tensão normal máxima no bordo tracionado

Tensão normal máxima nos apoios

Tensão cisalhante máxima nos apoios

Estabilidade lateral

<u>Verificação dos Estados Limites de Serviço (ELS):</u>

Flecha máxima limite

FLEXÃO SIMPLES RETA

Nas barras submetidas a momento fletor cujo plano de ação contém um eixo central de inércia da seção transversal resistente, a segurança fica garantida pela observância simultânea das seguintes condições:

$$\sigma_{c1,d} \leq f_{cd} \qquad \sigma_{t2,d} \leq f_{td}$$

σ_{c1d} = tensão de projeto atuante na borda mais comprimida

f_{cd} = tensão resistente de projeto à compressão

σ_{t2d} = tensão de projeto atuante na borda mais tracionada

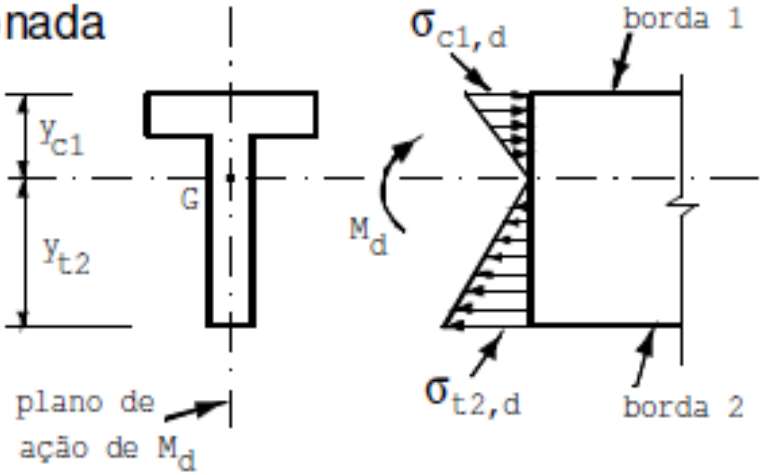
f_{td} = tensão resistente de projeto à tração

M_d = momento fletor de projeto

W_c e W_t = módulo de resistência à flexão do bordo considerado

I = momento de inércia

y_{c1} e y_{t2} = distância do centróide

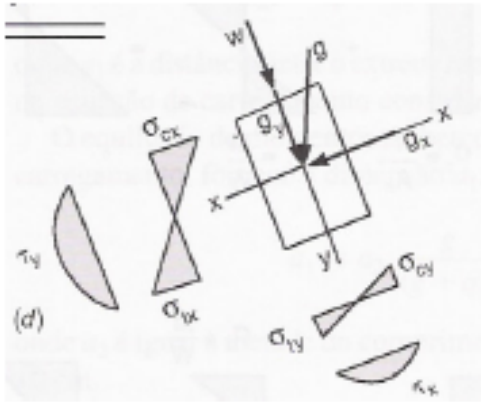


$$\sigma_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c} \qquad \sigma_{t2,d} = \frac{M_d}{W_t} \qquad W_c = \frac{I}{y_{c1}} \qquad W_t = \frac{I}{y_{t2}}$$

FLEXÃO SIMPLES OBLÍQUA

Nas seções submetidas a momento fletor cujo plano de ação não contém um de seus eixos centrais de inércia, a condição de segurança é expressa pela mais rigorosa das duas condições seguintes, tanto em relação às tensões de tração quanto às de compressão:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \qquad k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$



k_M = 0,5 para seção retangular

k_M = 1,0 para outras seções transversais

$\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ = tensões máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais

f_{wd} = resistência de cálculo, de tração ou de compressão conforme a borda verificada

k_M = coeficiente de correção

O fator k_M leva em conta o fato de que nem sempre a resistência se esgota quando a tensão combinada máxima atuando em um vértice de seção atinge a tensão resistente.

VIGAS - SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS

CISALHAMENTO LONGITUDINAL EM VIGAS

Nas vigas submetidas à flexão com força cortante, a condição de segurança em relação às tensões tangenciais é expressa por:

$$\tau_d \leq f_{v0,d}$$

τ_d = máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça

Em vigas de seção transversal retangular, de largura b e altura h , tem-se:

$$\tau_d = \frac{3}{2}\frac{V_d}{b.h}$$

Na falta de determinação experimental específica, admitem-se:

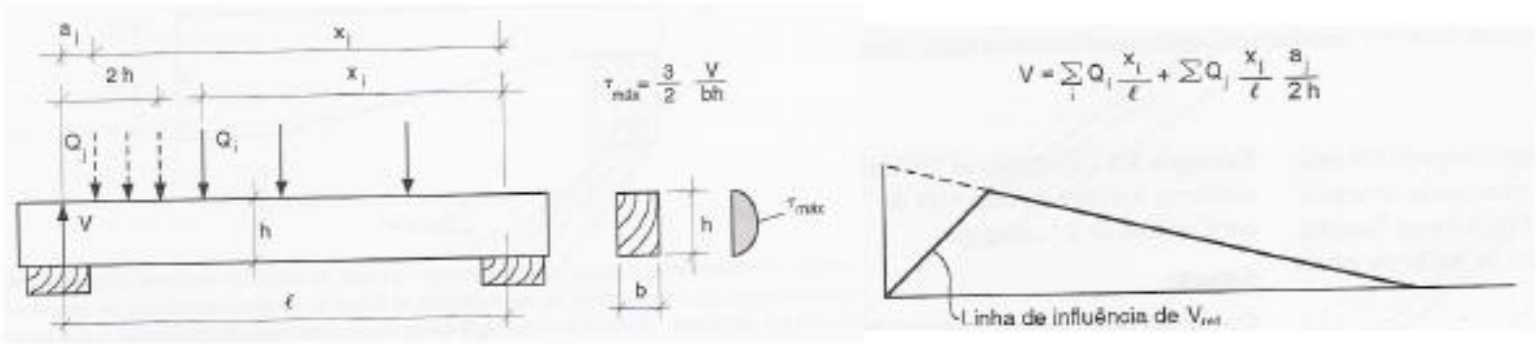
$f_{v0,d} = 0{,}15.\ f_{c0,d}$ para coníferas

$f_{v0,d} = 0{,}12.\ f_{c0,d}$ para dicotiledôneas

Nas vigas de altura h que recebem cargas concentradas, que produzem tensões de compressão nos planos longitudinais, a uma distância a < 2h do eixo do apoio, o cálculo das tensões de cisalhamento pode ser feito com uma força cortante reduzida de valor:

$$V_{red} = V\frac{a}{2h}$$

CISALHAMENTO LONGITUDINAL EM VIGAS

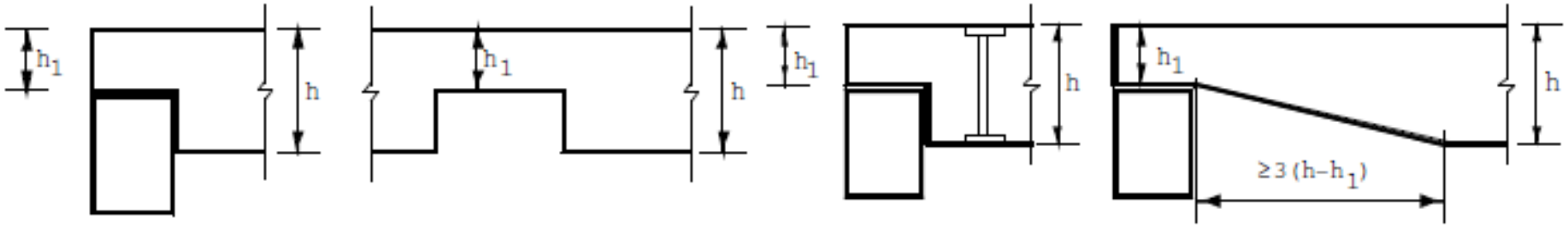


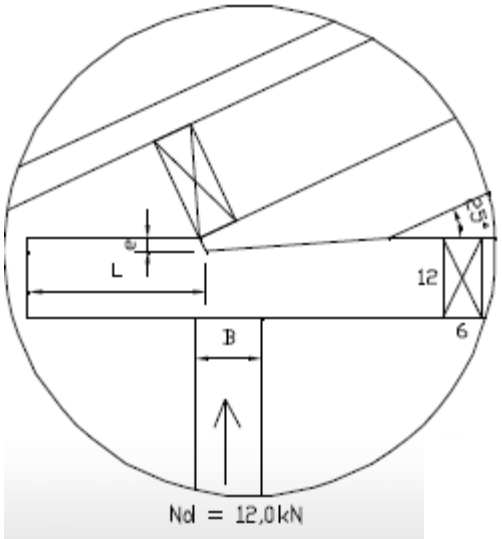
No caso de variações bruscas de seção transversal, devidas a entalhes, deve-se multiplicar a tensão de cisalhamento na seção mais fraca, de altura h1 , pelo fator h/h1, obtendo-se o valor, respeitada a restrição h1 > 0,75h.

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 b h_1} \left(\frac{h}{h_1} \right)$$

CISALHAMENTO LONGITUDINAL EM VIGAS

No caso de se ter h1/h > 0,75 recomenda-se o emprego de parafusos verticais dimensionados à tração axial para a totalidade da força cortante a ser transmitida ou o emprego de variações de seção com mísulas de comprimento não menor que 3 vezes a altura do entalhe, respeitando-se sempre o limite absoluto h1/h > 0,5.





CAPÍTULO 8
DIMENSIONAMENTO
(estabilidade lateral, flexo tração e flexo compressão)

FLEXO-TRAÇÃO

Nas barras submetidas à flexo-tração, a condição de segurança é expressa pela mais rigorosa das duas expressões seguintes aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais tracionada, considerando-se uma função linear para a influência das tensões devidas à força normal de tração :

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{to,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{to,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{to,d}} \leq 1 \qquad \frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{to,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{to,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{to,d}} \leq 1$$

k_M = 0,5 para seção retangular

k_M = 1,0 para outras seções transversais

$\sigma_{Nt,d}$ = valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de tração

$f_{t0,d}$ = resistência de cálculo à tração paralela às fibras

k_M = coeficiente de correção

FLEXO-COMPRESSÃO

A condição de segurança relativa à resistência das seções transversais submetidas à flexo-compressão é expressa pela mais rigorosa das duas expressões seguintes, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida, considerando-se uma função quadrática para a influência das tensões devidas à força normal de compressão:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{co,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{co,d}} \leq 1 \qquad \left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{co,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{co,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{co,d}} \leq 1$$

k_M = 0,5 para seção retangular

k_M = 1,0 para outras seções transversais

$\sigma_{Nc,d}$ = valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão

$f_{c0,d}$ = resistência de cálculo à compressão paralela às fibras

k_M = coeficiente de correção

O termo quadrático se origina da consideração do comportamento plástico da madeira à compressão.

PEÇAS COMPRIMIDAS - instabilidade

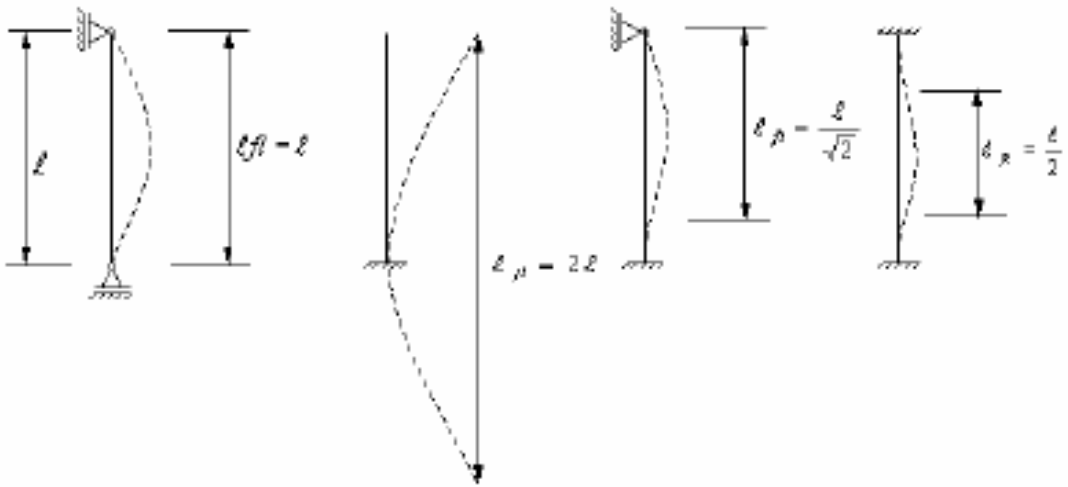
$$\lambda = \frac{L_o}{i_{min}}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

λ = índice de esbeltez

L_0 = comprimento teórico de referência

i_{min} = raio de giração mínimo da seção transversal



COMPRESSÃO DE PEÇAS CURTAS

Para as peças curtas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda \leq 40$, que na situação de projeto são admitidas como solicitadas apenas à compressão simples, dispensa-se a consideração de eventuais efeitos de flexão.

Para as peças curtas, que na situação de projeto são admitidas como solicitadas à flexo-compressão, as condições de segurança são as especificadas para flexo compressão, com os momentos fletores determinados na situação de projeto.

COMPRESSÃO DE PEÇAS MEDIANAMENTE ESBELTAS

Para as peças medianamente esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $40 < \lambda \leq$ submetidas na situação de projeto à flexo-compressão com os esforços de cálculo N M_{1d}, além das condições de segurança especificadas em 6.3.6, também deve verificada a segurança em relação ao estado limite último de instabilidade, por meio teoria de validade comprovada experimentalmente.

Considera-se atendida a condição de segurança relativa ao estado limite último instabilidade, se no ponto mais comprimido da seção transversal for respeitada a condi seguinte, aplicada isoladamente para os planos de rigidez mínima e de rigidez máxima peça.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{co,d}} \leq 1$$

σ_{Nd} = valor de cálculo da tensão de compressão devida à força normal de compressão

σ_{Md} = valor de cálculo da tensão de compressão devida ao momento fletor calculado p

$$M_d = N_d \cdot e_d \qquad e_d = e_1 \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \qquad F_E = \frac{\pi^2 E_{co,ef} I}{L_o^2} \qquad e_1 = e_i + e_a \qquad e_i = \frac{M_{1d}}{N_d}$$

$e_a = L_0/300$ (excentricidade acidental mínima)

$e_i > h/30$ (excentricidade inicial devido a presença do momento)

COMPRESSÃO DE PEÇAS ESBELTAS

Para as peças esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda > 80$, não se permitindo valo maior que 140, submetidas na situação de projeto à flexo-compressão com os esforços d cálculo N_d e M_{1d}, a verificação pode ser feita pela expressão:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{co,d}} \leq 1$$

σ_{Nd} = valor de cálculo da tensão de compressão devida à força normal de compressão

σ_{Md} = valor de cálculo da tensão de compressão devida ao momento fletor calculado por:

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef}\left(\frac{F_E}{F_E - N_d}\right) \qquad F_E = \frac{\pi^2 E_{co,ef} I}{L_o^2} \qquad e_{1,ef} = e_1 + e_c = e_i + e_a + e_c \qquad e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a)\left\{ exp\left[\frac{\phi\left[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}\right]}{F_E - \left[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}\right]}\right] - 1\right\} \qquad e_{ig} = \frac{M_{1g,d}}{N_{gd}}$$

$$\psi_1 + \psi_2 \leq 1$$

Tabela 15 - Coeficiente de fluência ϕ

Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

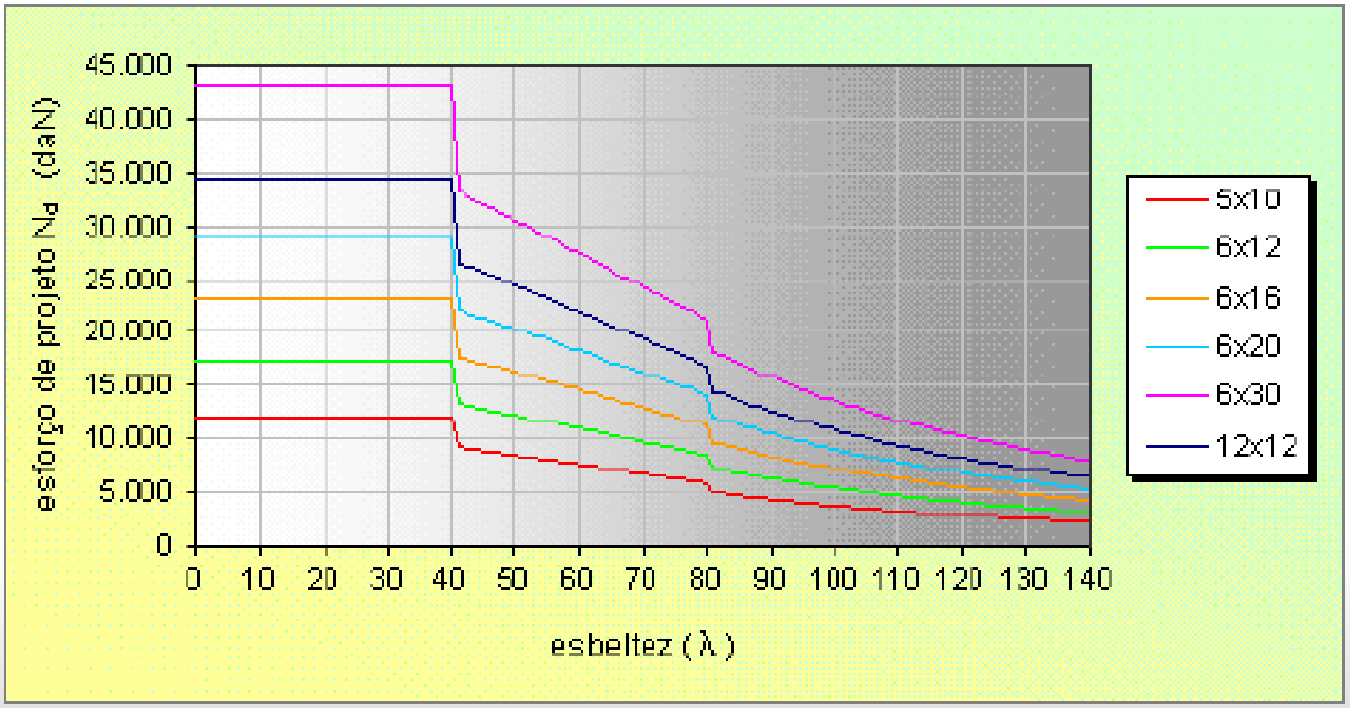
$e_a = L_0/300$ (excentricidade acidental mínima)

$e_i > h/30$ (excentricidade inicial de 1a ordem devido a presença do momento)

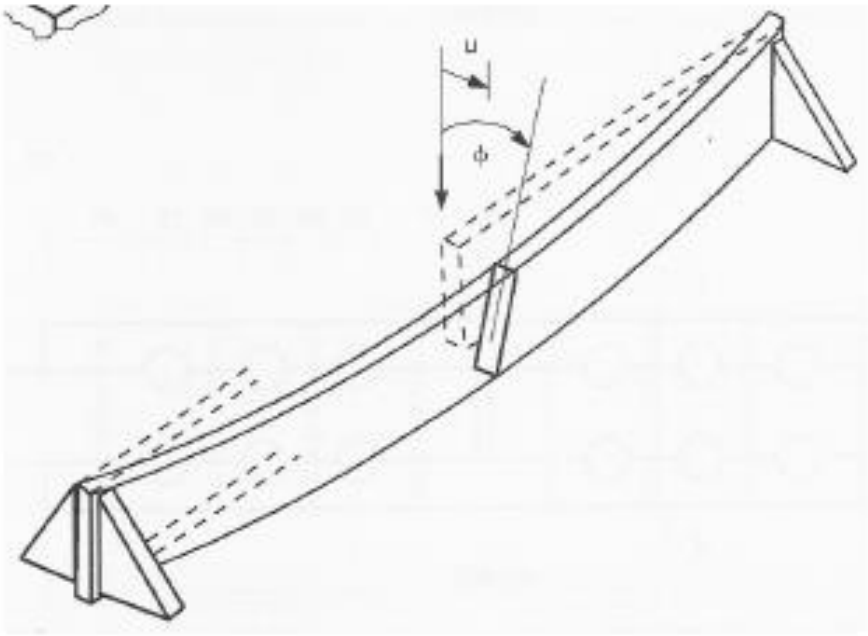
e_c = excentricidade suplementar de 1a ordem devido a fluência da madeira

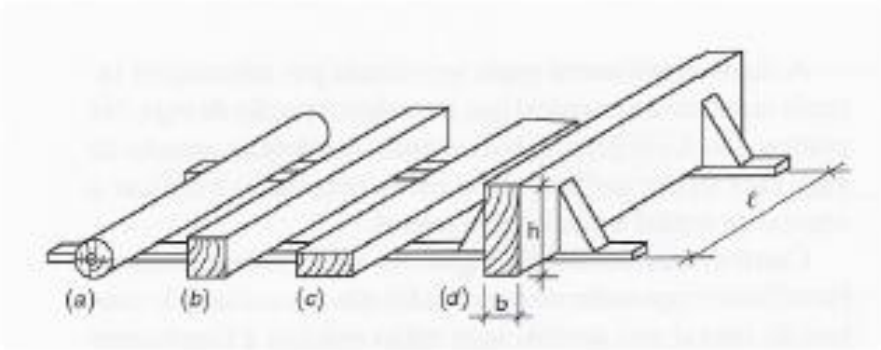
PEÇAS COMPRIMIDAS - (ITENS EM REVISÃO)

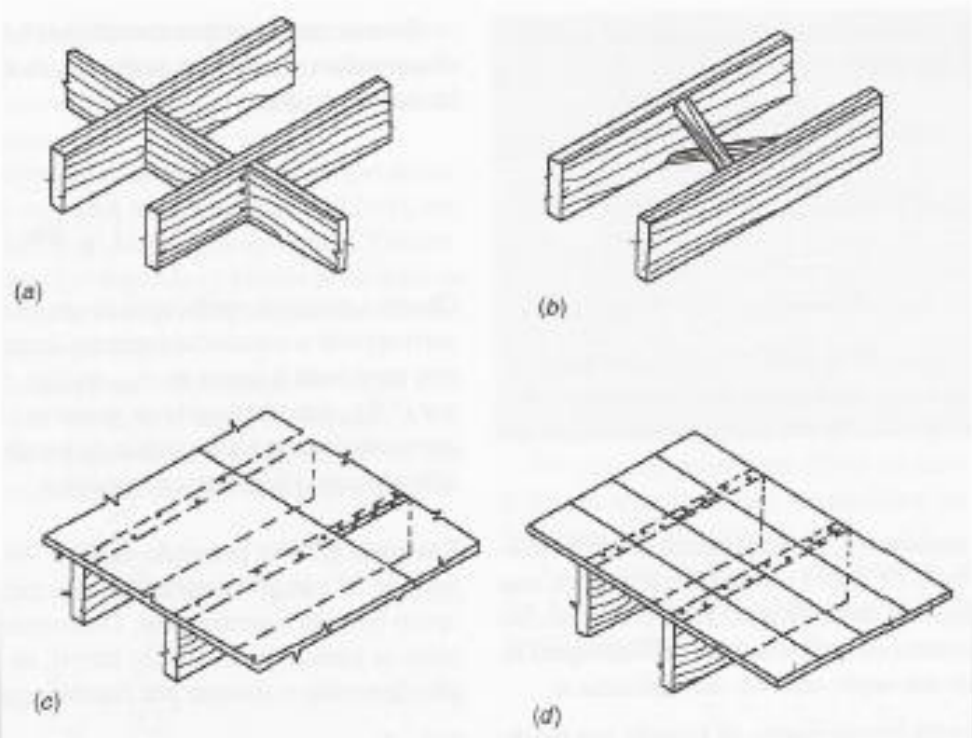
- Restrição nas opções de vinculação das extremidades das barras
- Limitação do Índice de Esbeltez das peças em 140
- Esclarecimentos sobre a excentricidade acidental mínima
- Complexidade da expressão que considera a fluência
- Descontinuidade do diagrama N_d x λ



As vigas fletidas, além de respeitarem as condições de segurança anteriores, devem ter sua estabilidade lateral verificada.







Dispensa-se essa verificação da segurança em relação ao estado limite último de instabilidade lateral quando forem satisfeitas as seguintes condições:

- os apoios de extremidade da viga impedem a rotação de suas seções extremas em torno do eixo longitudinal da peça;
- existe um conjunto de elementos de travamento ao longo do comprimento L da viga, afastados entre si de uma distância não maior que L1, que também impedem a rotação dessas seções transversais em torno do eixo longitudinal da peça;
- para as vigas de seção transversal retangular, de largura b e altura h medida no plano de atuação do carregamento.

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_M f_{co,d}} \qquad \beta_M = \frac{1}{0{,}25\pi} \frac{\beta_E \left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\gamma_f \left(\frac{h}{b} - 0{,}63\right)^{1/2}}$$

para $\gamma f = 1{,}4$ e para o coeficiente de correção $\beta E = 4$

ou então, $$\frac{L_1}{b} > \frac{E_{co,ef}}{\beta_M f_{co,d}} \qquad \sigma_{c1d} \leq \frac{E_{co,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right)\beta_M}$$

Tabela 16 - Coeficiente de correção β_M

$\frac{h}{b}$	β_M
1	6,0
2	8,8
3	12,3
4	15,9
5	19,5
6	23,1
7	26,7
8	30,3
9	34,0
10	37,6
11	41,2
12	44,8
13	48,5
14	52,1
15	55,8
16	59,4
17	63,0
18	66,7
19	70,3
20	74,0

VIGAS – LIMITE DE DESLOCAMENTO

A flecha efetiva, determinada pela soma das parcelas devidas à carga permanente e à carga acidental não pode superar 1/200, nem 1/100 do comprimento dos balanços correspondentes.

As flechas devidas às ações permanentes podem ser parcialmente compensadas por contraflechas dadas na construção. Neste caso na verificação de segurança, as flechas devidas às ações permanentes podem ser reduzidas, mas não se considerando reduções superiores a 2/3 da flecha permanente.

No caso de flexão oblíqua, os limites anteriores de flechas podem ser verificados isoladamente para cada um dos planos principais de flexão.

Nas construções em que haja materiais frágeis ligados à estrutura, as flechas totais, não devem superar 1/350 dos vãos, nem 1/175 do comprimento dos balanços correspondentes. As flechas devidas apenas às ações variáveis não devem superar 1/300 ou 1/150 do comprimento dos balanços correspondentes, nem valor absoluto de 15 mm.

TORÇÃO

Recomenda-se evitar a torção de equilíbrio em peças de madeira, em virtude do risco de ruptura por tração normal às fibras decorrente do estado múltiplo de tensões atuante.

Quando o equilíbrio do sistema estrutural depender dos esforços de torção (torção de equilíbrio), deve-se respeitar a condição seguinte, calculando-se $\tau_{T,d}$ pelas expressões da Teoria da Elasticidade, sob ações das solicitações de cálculo T_d.

$$\tau_{T,d} \leq f_{vo,d}$$

CAPÍTULO 9
DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES

TIPOS DE LIGAÇÕES

Os tipos de ligações mais usuais em estruturas de madeira podem ser resumidos nos seguintes:

- Sambladuras (entalhes)
- Pregos
- Parafusos
- Cavilhas
- Conectores
- Adesivo

CONDIÇÃO DE SEGURANÇA

O dimensionamento dos elementos de ligação deve obedecer a condição de segurança do tipo:

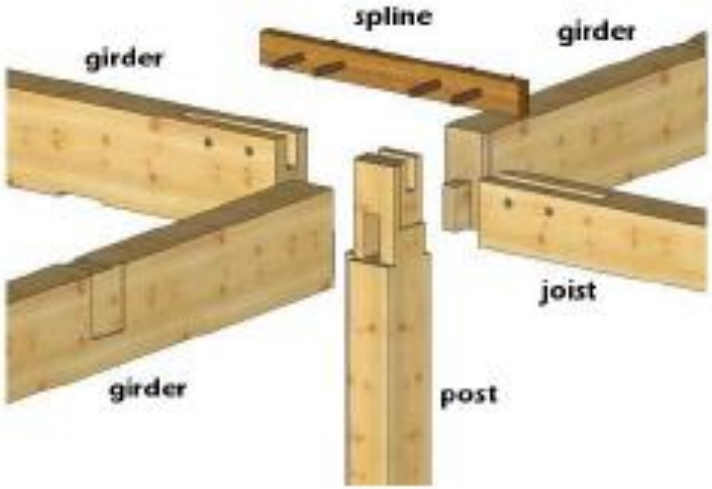
$$S_d \leq R_d$$

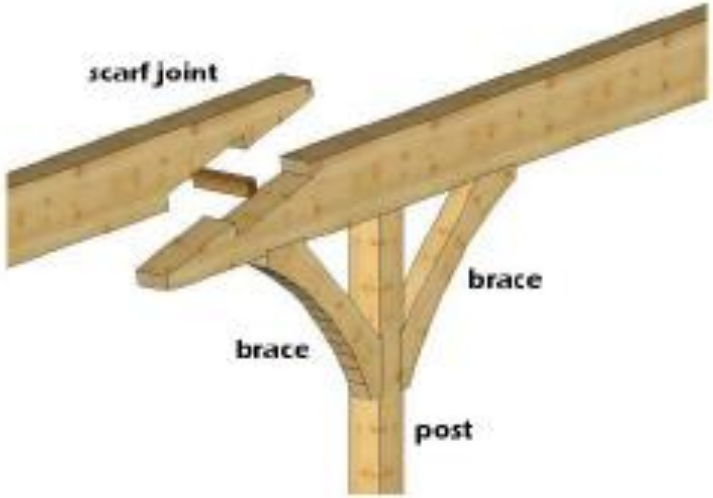
Obs: O ELU da ligação pode ser atingido por deficiência da madeira ou do elemento de ligação.

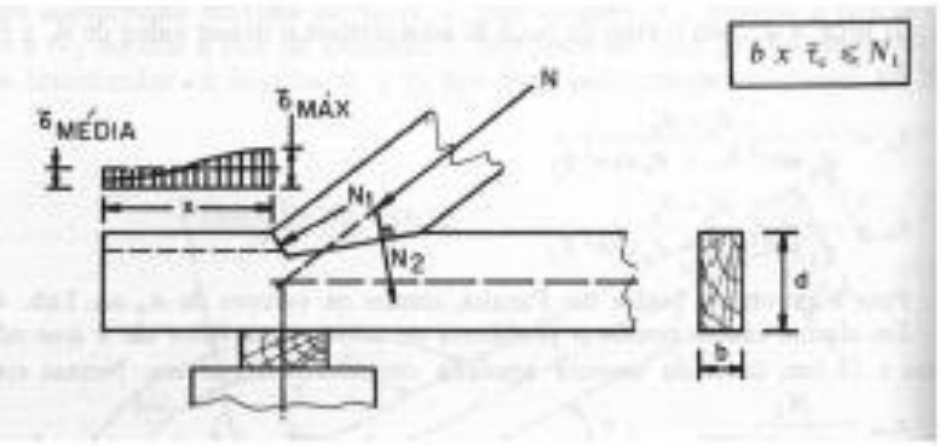
SAMBLADURAS

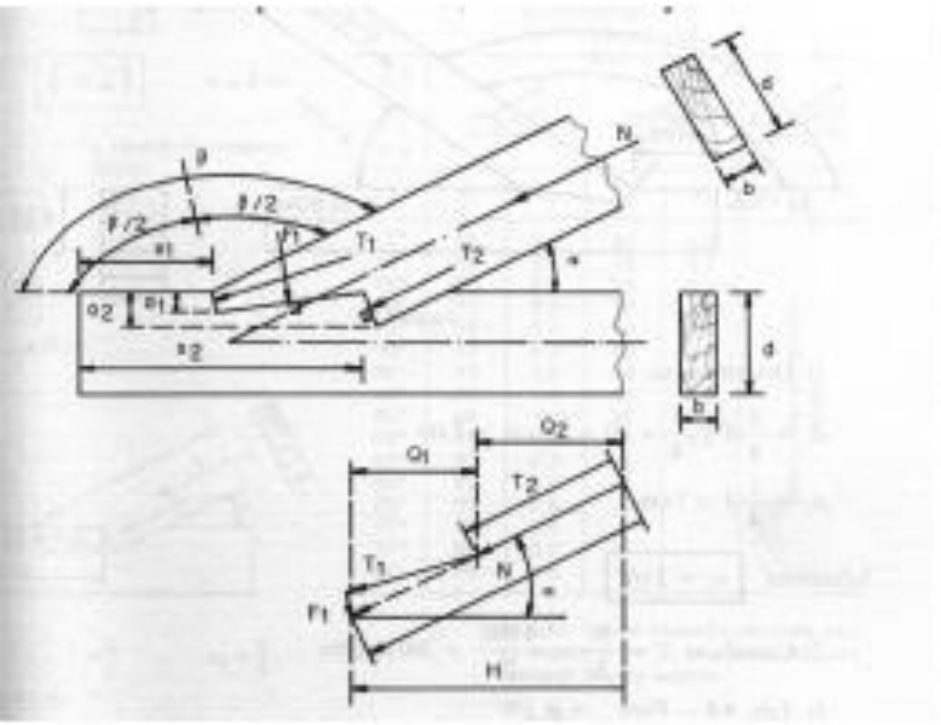
GENERALIDADES

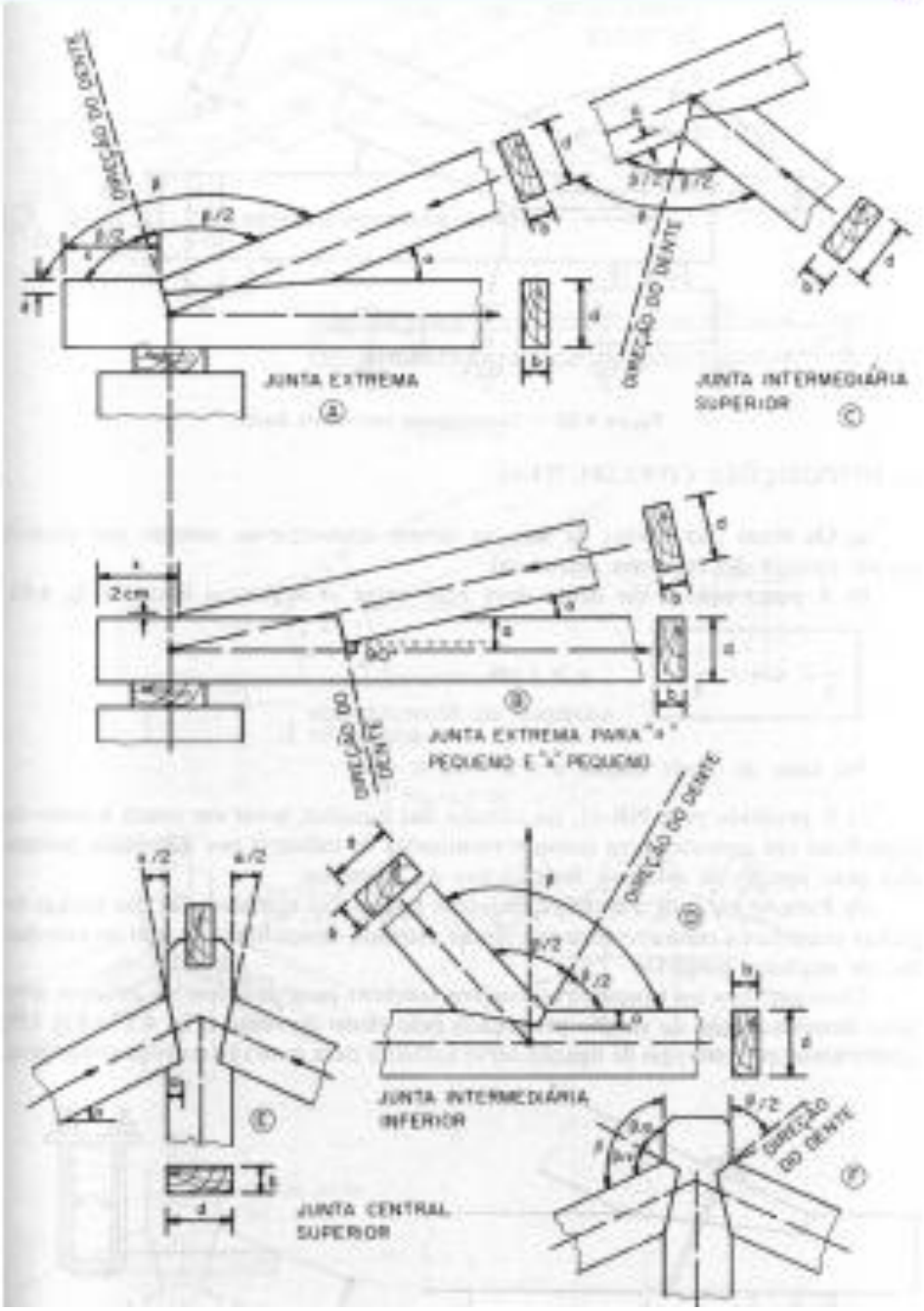
- É o tipo de ligação mais comum e natural entre duas peças de madeira
- Necessita de mão-de-obra especializada
- Só podem ser utilizadas em peças comprimidas
- Apresentam elevada rigidez
- Verificar a resistência das superfícies ao esmagamento e/ou cisalhamento






$b \times \tau_c \leq N_1$
$\sigma_{MÉDIA}$
$\sigma_{MÁX}$
N
N_1
N_2
x
d
b


N
β
β/2
T_1
T_2
O_1
O_2
x_1
x_2
d
b
H
F_1


DIREÇÃO DO ESFORÇO
DIREÇÃO DO DENTE
JUNTA EXTREMA
JUNTA INTERMEDIÁRIA SUPERIOR
JUNTA EXTREMA PARA "a" PEQUENO E "x" PEQUENO
JUNTA INTERMEDIÁRIA INFERIOR
JUNTA CENTRAL SUPERIOR
2cm

PINOS METÁLICOS

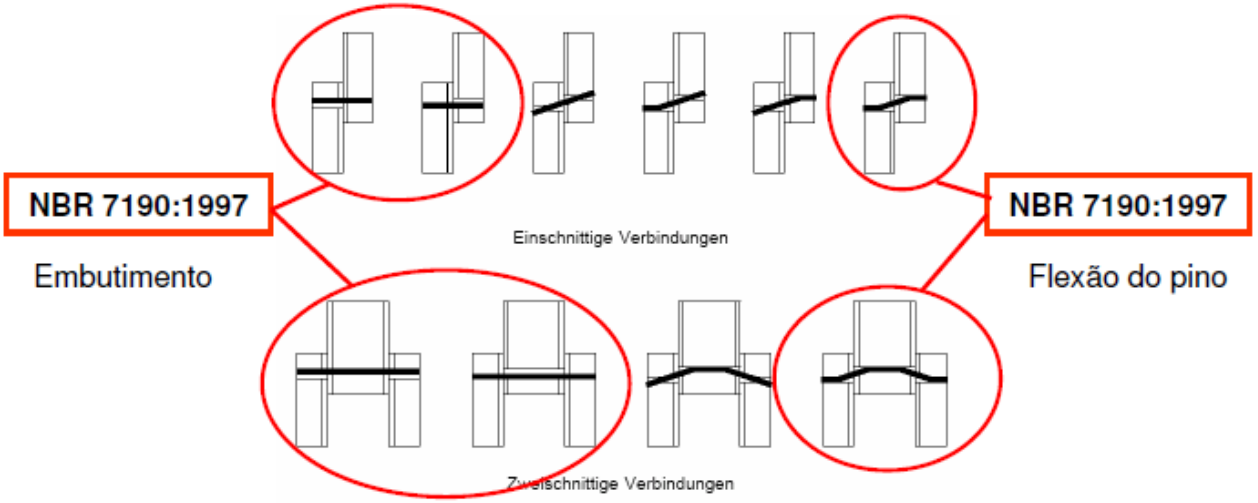
GENERALIDADES

- É o tipo de ligação mais simples entre duas peças de madeira
- Não necessita de mão-de-obra especializada
- Podem ser utilizadas em peças comprimidas ou tracionadas
- Apresentam baixa rigidez e grandes deslocamentos

EXEMPLOS

- Prego liso com cabeça
- Prego anelado
- Prego ardox
- Parafuso sextavado
- Parafuso francês
- Parafuso auto-atarraxante
- Barra roscada
- Barra lisa

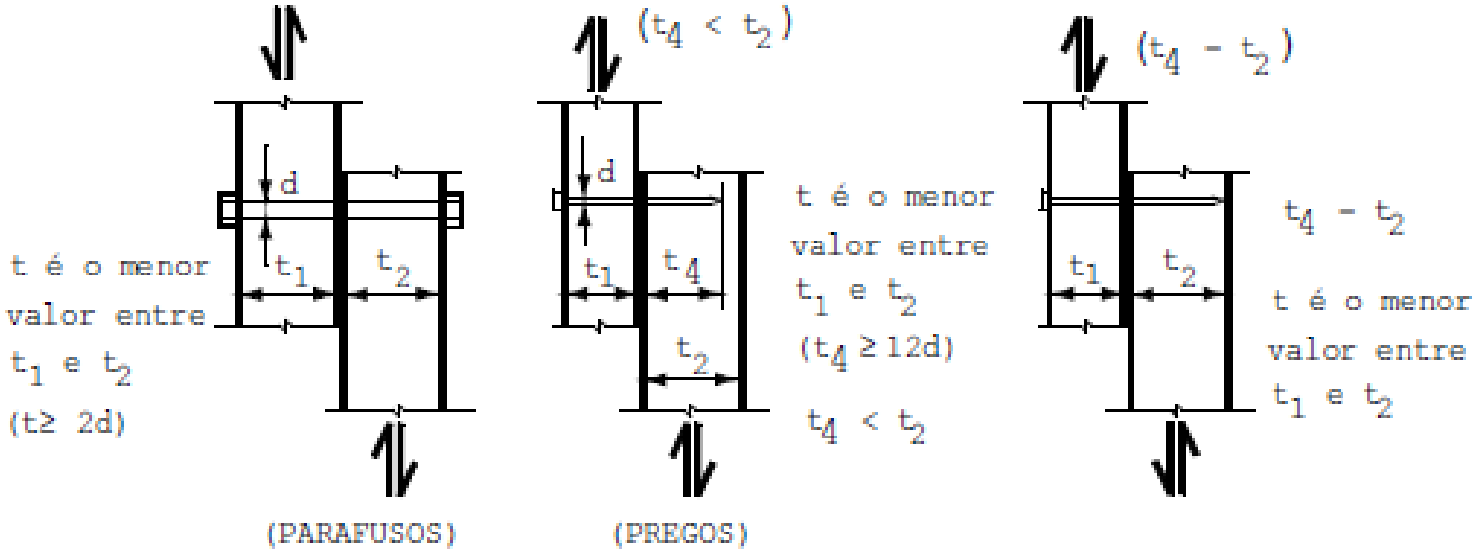
FORMAS DE RUPTURA



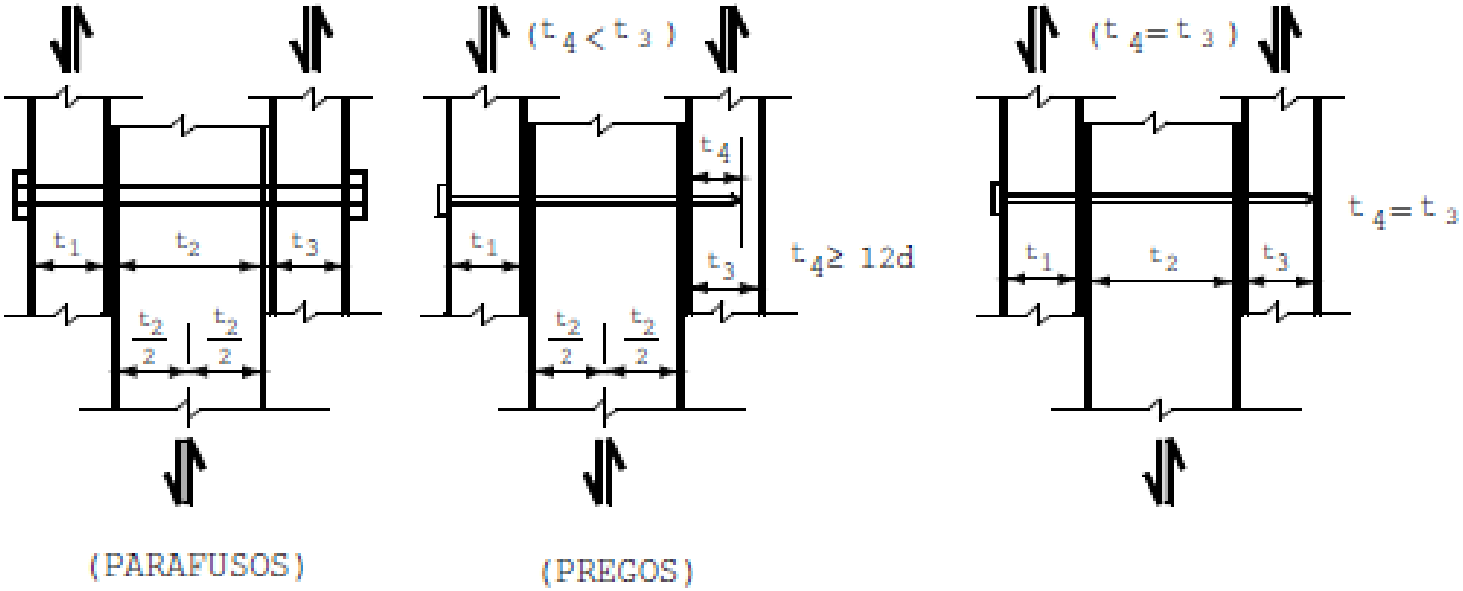
Obs: A resistência total de um pino de ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às suas diferentes seções de corte.

RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

Corte Simples



Corte Duplo



RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

Parâmetros

$$\beta = \frac{t}{d}$$

$$\beta_{lim} = 1{,}25\sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

com

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \qquad \gamma_s = 1{,}1$$

$$f_{eo,d} = f_{co,d}$$

$$f_{e90,d} = 0{,}25 f_{co,d} \cdot \alpha_e$$

Diâmetro do pino(cm)	≤0,62	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2
Coeficiente αe	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do pino(cm)	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	≥7,5
Coeficiente αe	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

1º Caso: Embutimento (se $\beta \leq \beta lim$)

$$R_{vd,1} = 0{,}40 \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$$

2º Caso: Flexão do pino (se $\beta > \beta lim$)

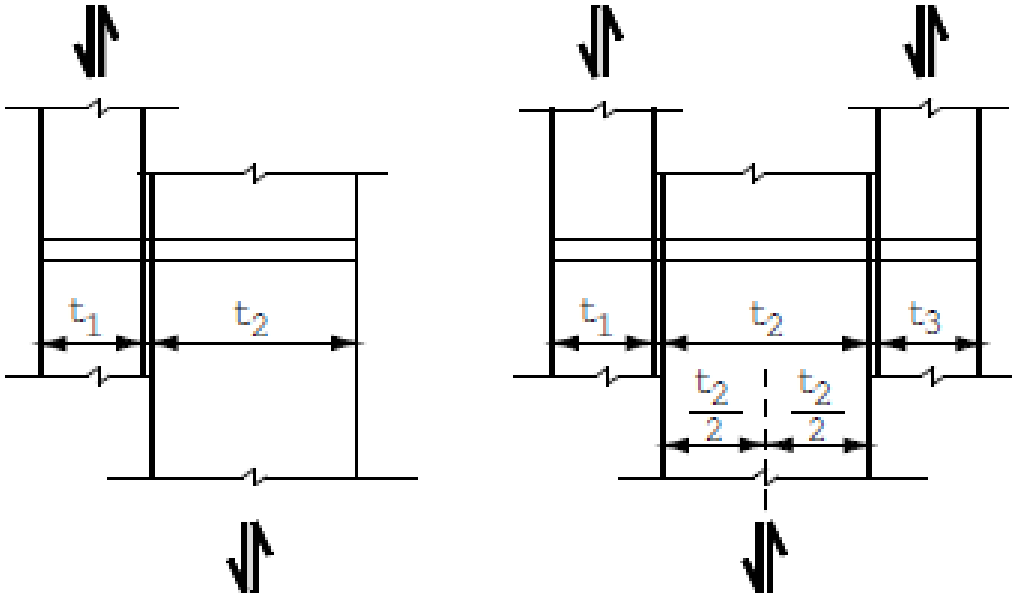
$$R_{vd,1} = 0{,}625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd} \, (com \, \beta = \beta_{lim})$$

GENERALIDADES

- Cavilhas são empregadas em obras que possuam restrições ao uso do aço
- Devem ser feitas com madeira de alta resistência mecânica (C60) e durabilidade
- Podem ser lisas ou com ranhuras
- Verificar a resistência à compressão paralela e à compressão normal da cavilha

RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

Corte Simples e Corte Duplo



apenas em ligações secundárias

RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

Parâmetros $\begin{cases} \beta = \dfrac{t}{d} \\ \beta_{lim} = \sqrt{\dfrac{f_{c0d,cav}}{f_{c90d,cav}}} \end{cases}$ com $f_{c90,d} = 0{,}25 f_{co,d}$

1º Caso: Esmagamento da cavilha (se $\beta \leq \beta lim$) $R_{vd,1} = 0{,}4 \dfrac{t^2}{\beta} f_{c90d,cav}$

2º Caso: Flexão da cavilha (se $\beta > \beta lim$) $R_{vd,1} = 0{,}4 \dfrac{d^2}{\beta_{lim}} f_{c0d,cav} \left(com \beta = \beta_{lim} \right)$

ANÉIS METÁLICOS

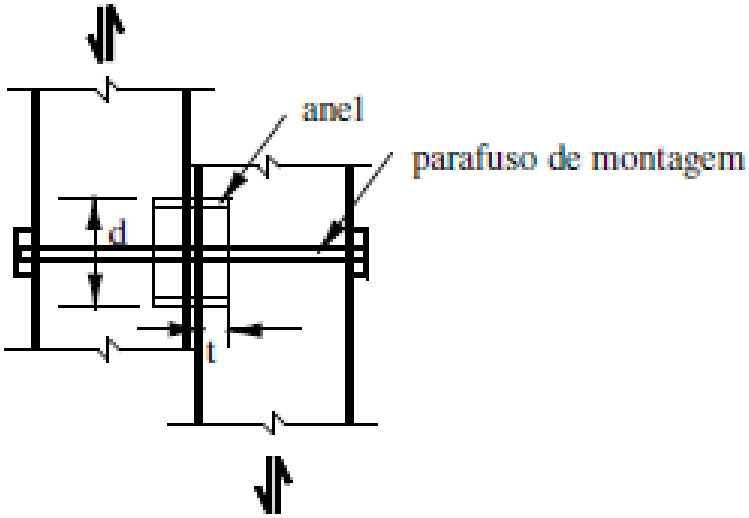
GENERALIDADES

- Os anéis metálicos são empregados em casos que necessitam de elevada resistência e rigidez das ligações

- Os anéis devem ser acompanhados de parafusos no centro para evitar o afastamento entre as peças de madeira

- Verificar a resistência ao cisalhamento longitudinal das peças de madeira interligadas

RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO



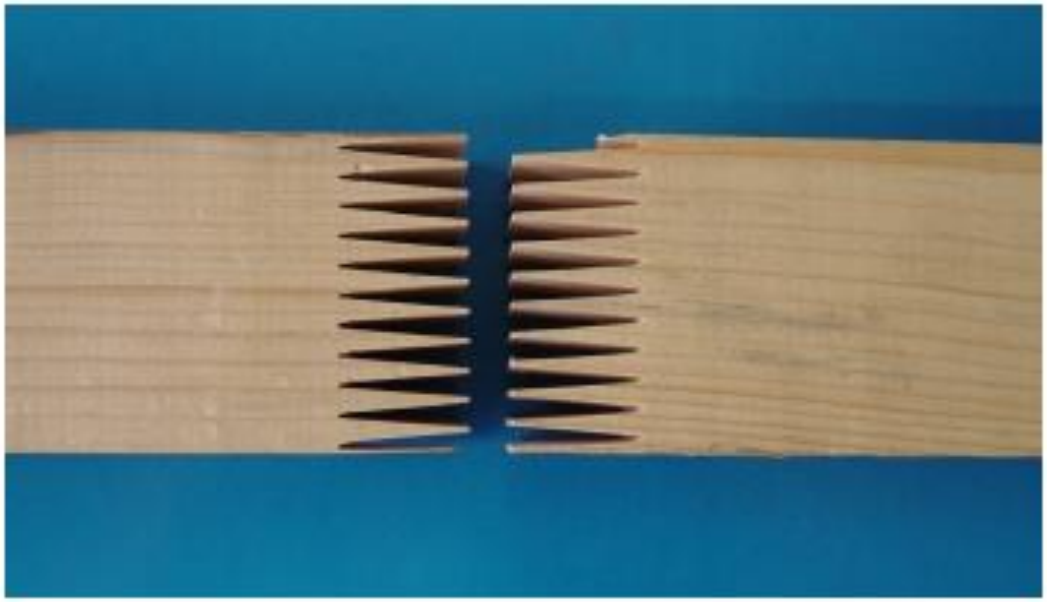
O valor de cálculo da resistência ao cisalhamento da madeira correspondente a um anel metálico é dado pelo menor dos valores:

$$R_{anel,1} = \frac{\pi d^2}{4} f_{vo,d} \qquad e \qquad R_{anel,2} = t\, d\, f_{c\alpha,d}$$

CHAPA DE DENTES ESTAMPADOS - CDE

GENERALIDADES

- As chapas com dentes estampados possibilitam ligações em peças de menores dimensões
- Facilidade de execução
- Evita rachadura da madeira
- Possibilidade de industrialização (maior controle de qualidade)



GENERALIDADES

- Pouco utilizado no Brasil
- Exige mão-de-obra especializada e alto controle de qualidade
- Adesivos resistentes à intempéries
- Apenas para madeiras de baixa e média densidade (permeabilidade)

DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS - LIGAÇÕES

- Nunca serão utilizadas ligações com pino único
- Ligações com quatro ou mais pinos são consideradas rígidas
- É obrigatória a pré-furação da madeira para ligações pregadas
- Pré-furação de pregos: $d_0 = 0{,}85\ d_{ef}$ (coníferas)

  $d_0 = 0{,}98\ d_{ef}$ (dicotiledôneas)
- Pré-furação de parafusos: $d_0 = d_{ef} + 0{,}5mm$
- Pré-furação de cavilhas: $d_0 = d_{ef}$
- Diâmetro mínimo dos pinos:

  Pregos: 3 mm

  Parafusos: 10 mm

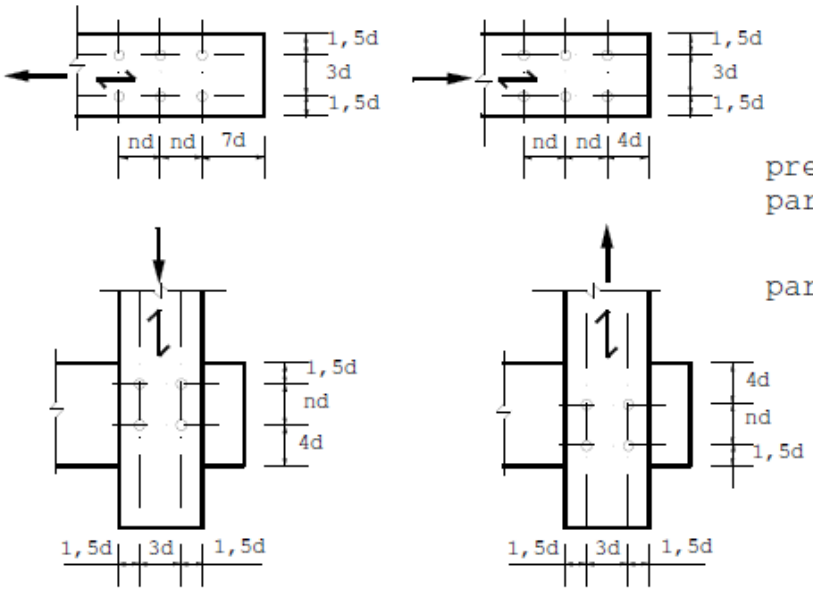
  Cavilhas: 16 mm
- Diâmetro dos anéis metálicos:

  64 mm com parafuso de 12 mm

  102 mm com parafuso de 16 mm

DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS - LIGAÇÕES

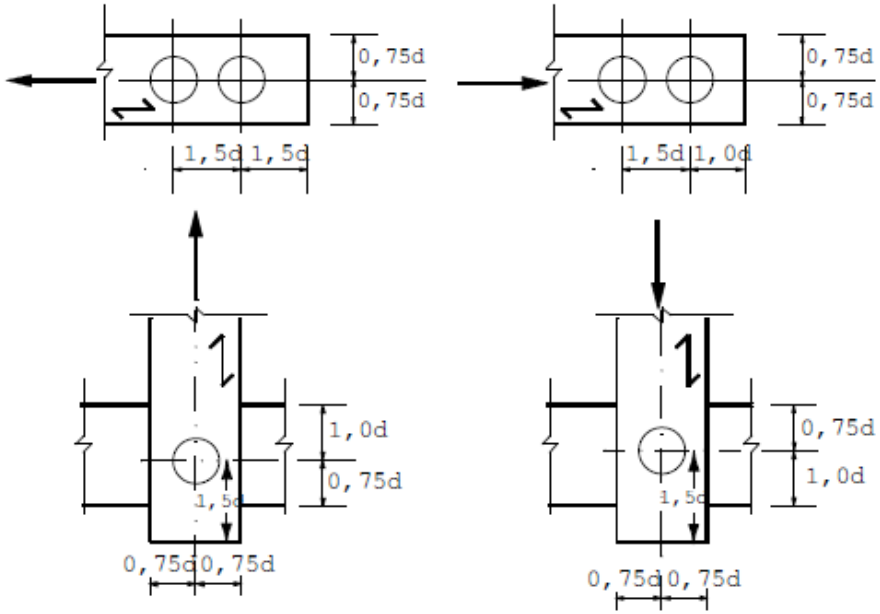
ESPAÇAMENTO DE LIGAÇÕES COM PINOS



pregos, cavilhas
parafusos ajustados
n = 6

parafusos
n = 4

ESPAÇAMENTO DE LIGAÇÕES COM ANÉIS



CAPÍTULO 10

DIMENSIONAMENTO
(PEÇAS COMPOSTAS e CONTRAVENTAMENTO)

PEÇAS COMPOSTAS – NBR7190

PEÇAS COMPOSTAS

- Peças compostas de seção T, I ou Caixão, ligadas por pregos
- Peças compostas com alma em treliça ou de chapa de madeira compensada
- Peças compostas por lâminas de madeira colada
- Peças compostas de seção retangular ligadas por conectores metálicos

ESTABILIDADE DE PEÇAS COMPOSTAS

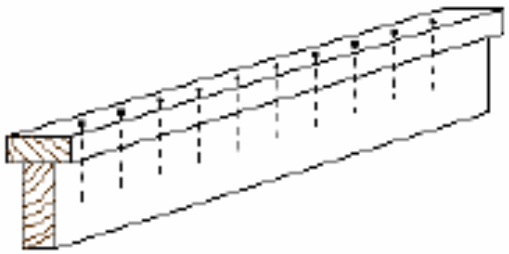
- Peças solidarizadas continuamente
- Peças solidarizadas descontinuamente

PEÇAS COMPOSTAS T, I OU CAIXÃO

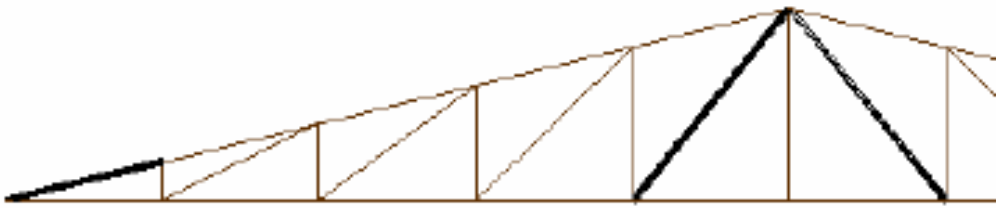
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

Peças solicitadas por esforços axiais e/ou de flexão

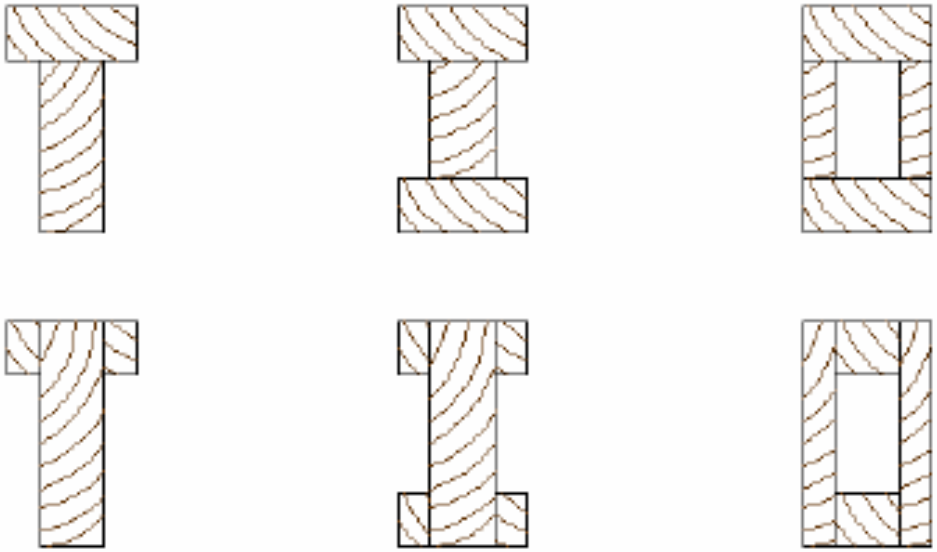
(Vigas ou terças)



(Barras de treliça)

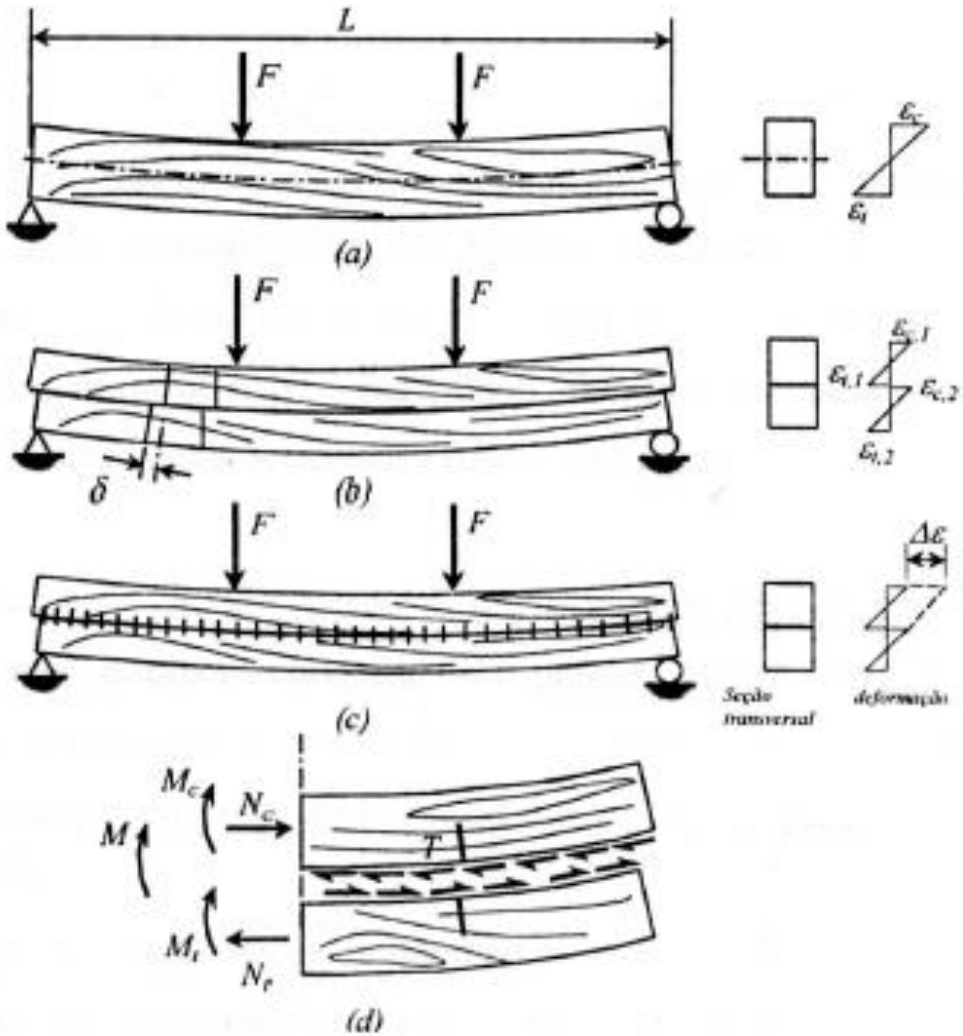


CONFIGURAÇÃO DAS SEÇÕES



T, I OU CAIXÃO – DIMENSIONAMENTO (NOVO)

Conceitos básicos



» Módulo de deslizamento da ligação (N/mm)

Estados limites de serviço $\Rightarrow K_{ser} = \dfrac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20}$

Estados limites últimos $\Rightarrow K_u = \dfrac{2}{3} \cdot K_{ser}$

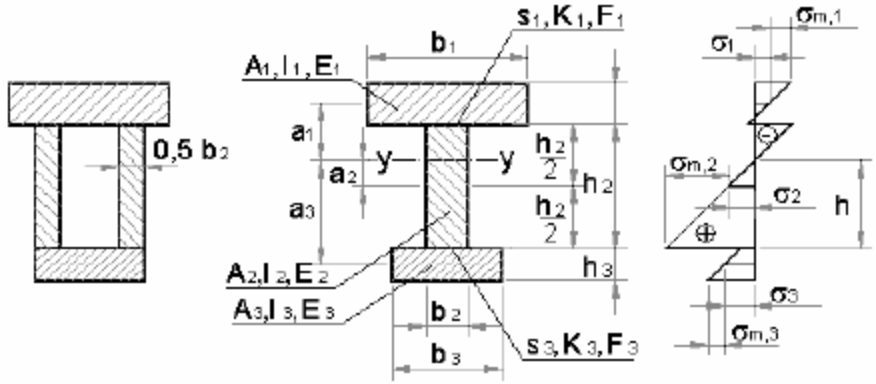
Rigidez Efetiva $\Rightarrow$ $$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{3} \left(E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2 \right)$$

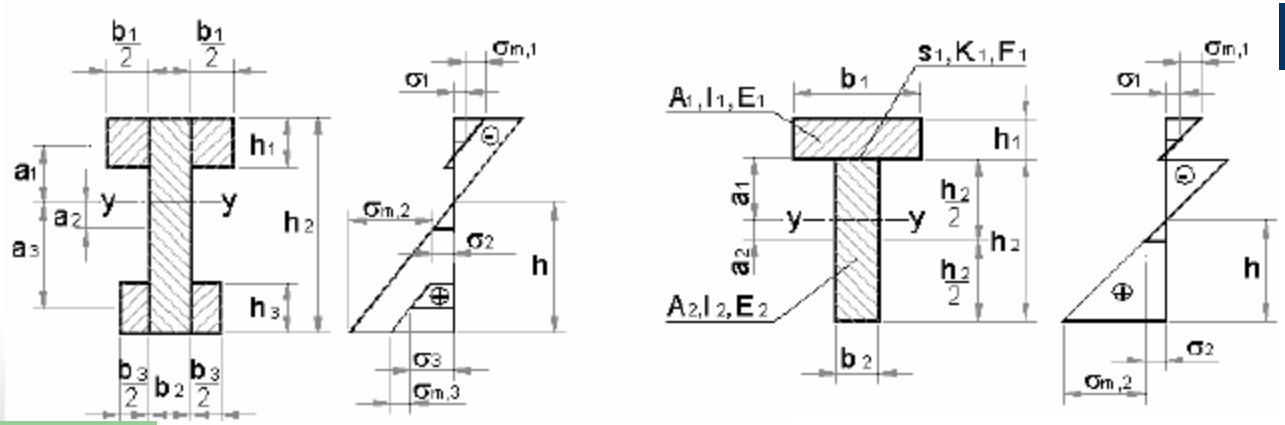
Fator de redução $\Rightarrow$ $\gamma_2 = 1$ $$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot L^2} \right]^{-1}$$

Distâncias dos centróides $\Rightarrow$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^{3} \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$$

$$a_1 = \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) - a_2 \qquad a_3 = \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) + a_2$$





Tensões Normais $\Rightarrow$

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,i} = 0{,}5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}}$$

Cisalhamento $\Rightarrow$ $\tau_{2,max} = \left(\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0{,}5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2\right) \cdot \frac{V}{b_2 \cdot (EI)_{ef}}$

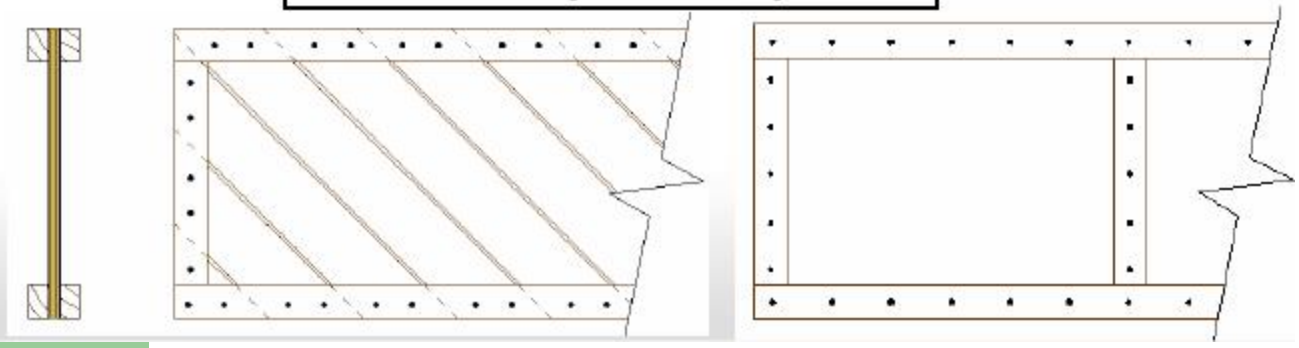
Força no Conector $\Rightarrow$ $F_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i \cdot \frac{V}{(EI)_{ef}}$

ALMA EM TRELIÇA OU COMPENSADO

EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

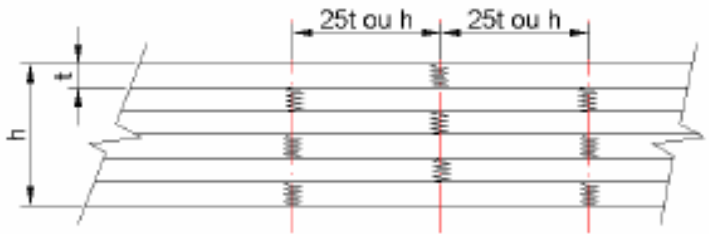
Vigas, arcos e pórticos

CONFIGURAÇÃO DAS SEÇÕES



RECOMENDAÇÕES E DIMENSIONAMENTO

- As peças de MLC devem ser formadas por lâminas com espessuras não superiores a **3 cm**.
- Devem ser fabricadas por **processo industrial**, com **adesivo apropriado** para uso estrutural.
- Em lâminas adjacentes, de espessura "**t**", suas emendas devem estar afastadas entre si de uma distância pelo menos igual a "**25t**" ou à altura "**h**" da viga.



- Todas as emendas contidas em um comprimento igual a altura da viga são consideradas como pertencentes à mesma seção resistente.
- As lâminas emendadas possuem a seção resistente reduzida da seguinte forma:

$$A_{red} = \alpha_r A_{ef}$$

» emendas dentadas ⇒ $\alpha_r = 0{,}9$

» emendas biseladas 1:10 ⇒ $\alpha_r = 0{,}85$

» emendas de topo ⇒ $\alpha_r = 0$

PEÇAS SOLIDARIZADAS DESCONTINUAMENTE

EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

- Pilares e barras de treliça

TIPOS

- Seção: Dois ou Três elementos de seção retangular.

- Solidarização: Descontínua por espaçadores interpostos ou chapas laterais.

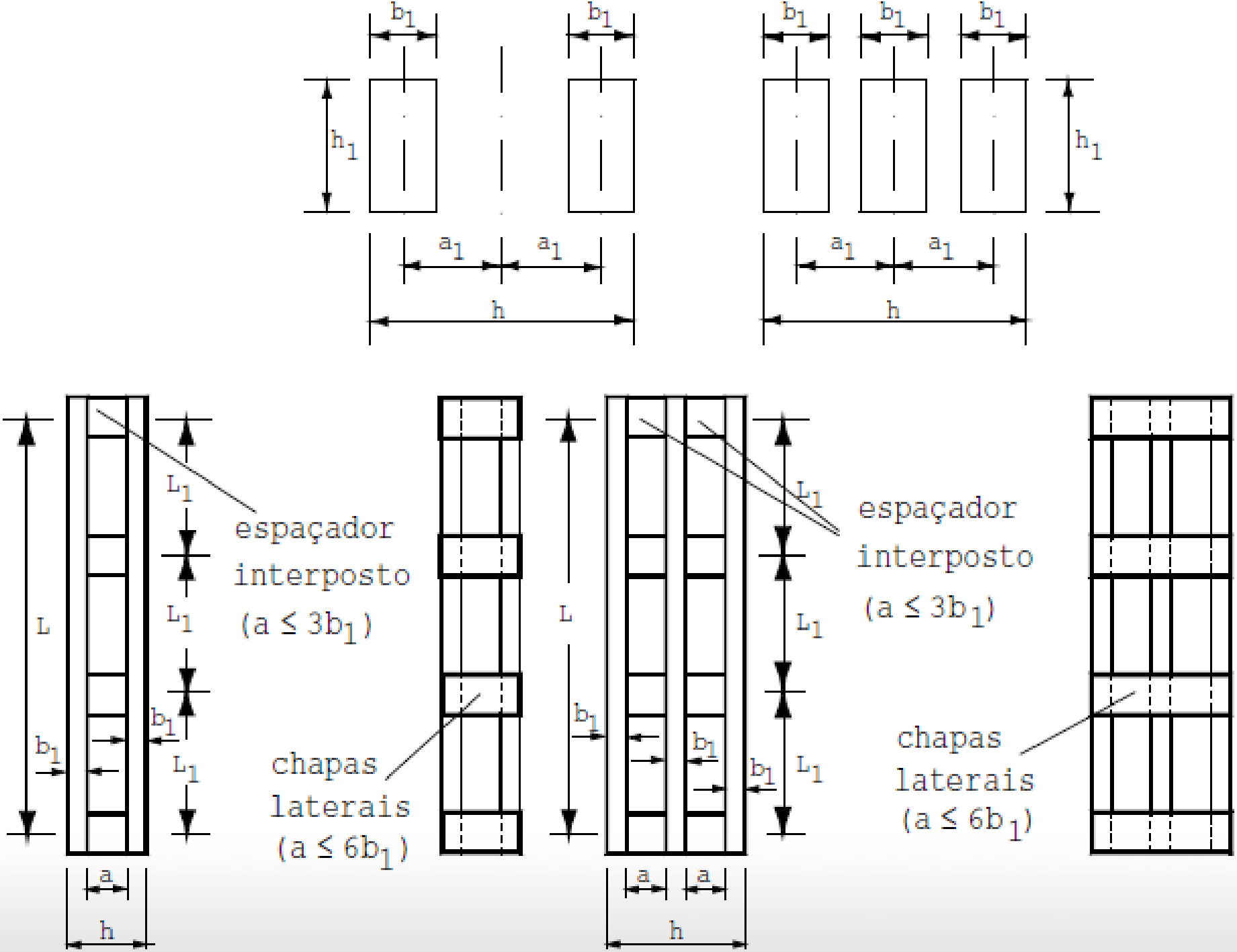
ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE INSTABILIDADE GLOBAL

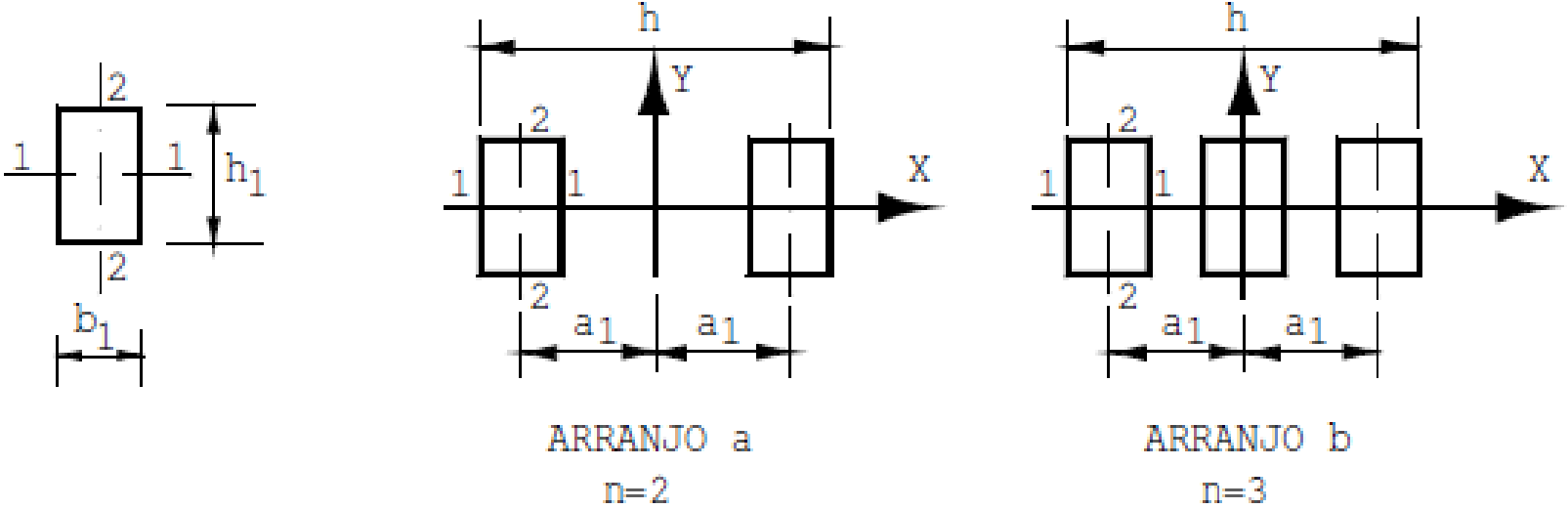
- Para peças de seção composta solidarizadas descontinuamente permite-se a verificação da estabilidade, como se elas fossem de seção maciça, nas condições adiante estabelecidas:

- Os espaçadores devem estar igualmente afastados entre si ao longo do comprimento;

- A fixação deve ser feita por pregos ou parafusos;

- Mínimo de dois parafusos afastados entre si de no mínimo 4d e das bordas 7d;


b1
h1
a1
h
L
L1
espaçador interposto (a ≤ 3b1)
chapas laterais (a ≤ 6b1)
a



Seção do elemento componente

$$A_1 = b_1 h_1$$

$$I_1 = b_1 h_1^3 / 12$$

$$I_2 = h_1 b_1^3 / 12$$

Seção composta

$$A = n A_1$$

$$I_x = n I_1$$

$$I_y = n I_2 + 2 A_1 a_1^2$$

$$I_{y,ef} = \beta_1 I_y$$

$$\beta_1 = \frac{I_2 m^2}{I_2 m^2 + \alpha_y I_y}$$

Onde:

» m = número de intervalos $\boxed{m = \frac{L}{L_1}}$

» para espaçadores interpostos ⇒ $\alpha_r = 1{,}25$

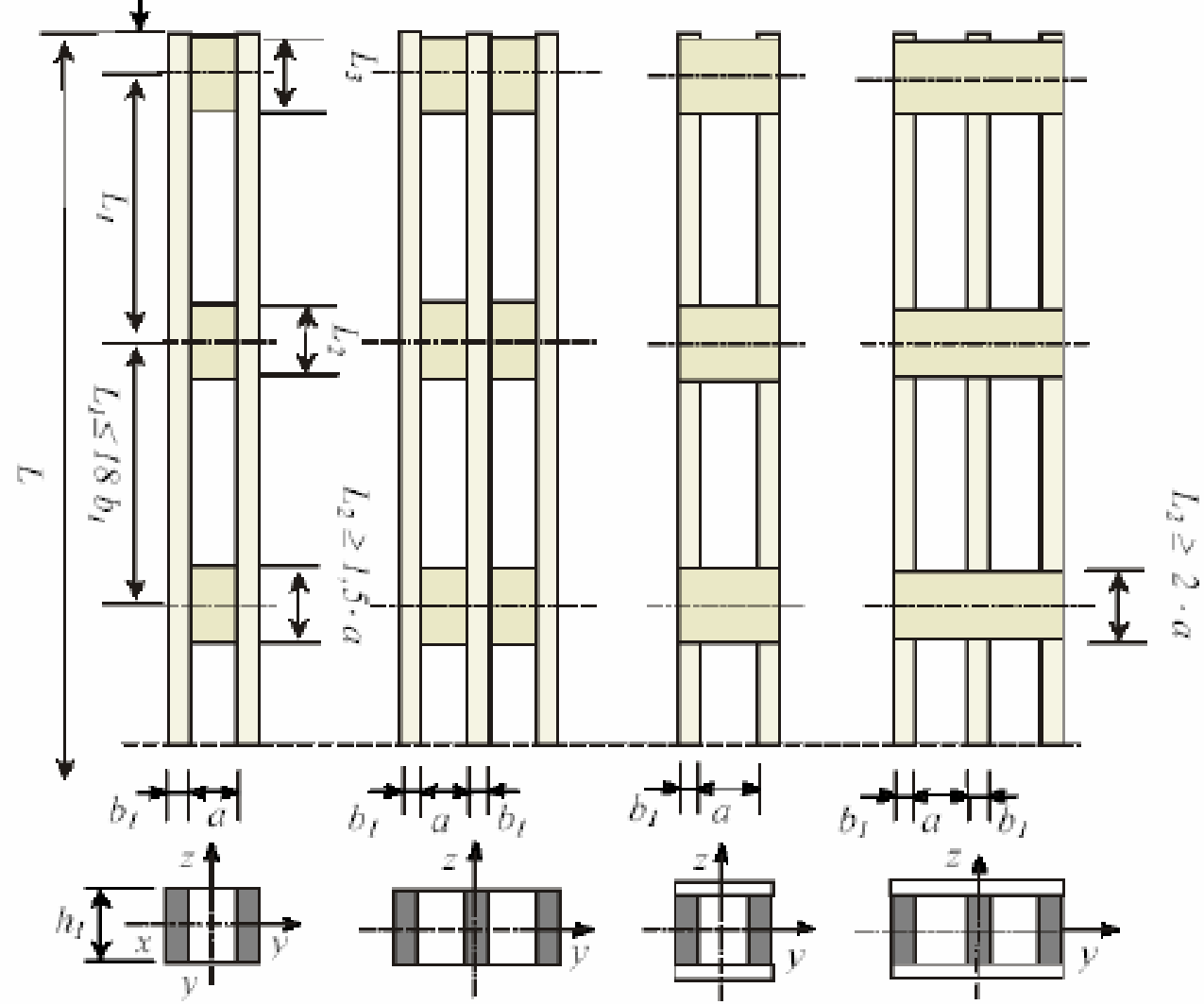
» para chapas laterais de fixação ⇒ $\alpha_r = 2{,}25$

A verificação deve ser feita com área "A" e momentos d
inércia "Ix" e "Iy,ef".

★ **Condição de segurança:**

$$\boxed{\frac{N_d}{A} + \frac{M_d I_2}{I_{y,ef} W_2} + \frac{M_d}{2 a_1 A_1}\left(1 - n\frac{I_2}{I_{y,ef}}\right) \leq f_{cod}}$$

Onde: $\boxed{W_2 = \frac{I_2}{b_1/2}}$



Dispensa-se a verificação da estabilidade local dos trechos de comprimento "L1" dos elementos componentes, desde que respeitada as limitações:

- » $9b \leq L1 \leq 18b$
- » para peças interpostas ⇒ $a \leq 3b$
- » para peças com chapas laterais ⇒ $a \leq 6b$

Estabilidade global – Contraventamento

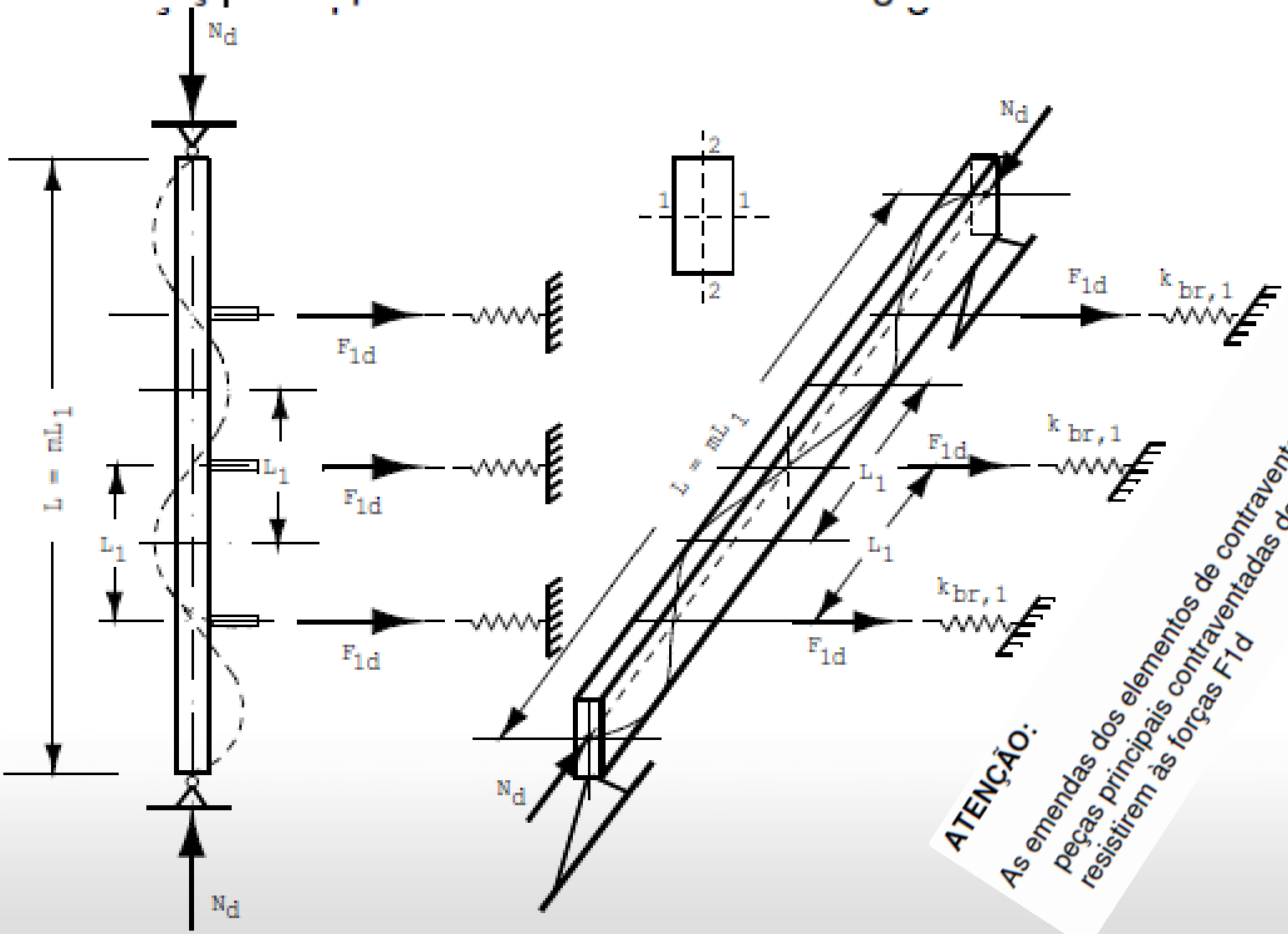
As estruturas formadas por um sistema principal de elementos estruturais, dispostos com sua maior rigidez em planos paralelos entre si, devem ser contraventadas por outros elementos estruturais, dispostos com sua maior rigidez em planos ortogonais aos primeiros, de modo a impedir deslocamentos transversais excessivos do sistema principal e garantir a estabilidade global do conjunto.

Para o dimensionamento do contraventamento deve-se considerar os esforços aplicados nas direções de menor rigidez das estruturas, por exemplo, o vento aplicado em um oitão.

Na falta de determinação específica da influência destes fatores, permite-se admitir que, na situação de cálculo, em cada nó do contraventamento seja considerada uma força F1d, com direção perpendicular ao plano de resistência dos elementos do sistema principal, de intensidade convencional, conforme o que adiante se estabelece,

Para o contraventamento geral de uma estrutura deve-se sempre buscar a fixação de um ponto da estrutura á um ponto considerado fixo. Esse ponto fixo geralmente é um ponto de apoio externo à estrutura de madeira. Ao fixar um ponto da estrutura de madeira em um ponto fixo externo, esse ponto da estrutura de madeira pode ser considerado um ponto fixo.

Para as peças comprimidas pela força de cálculo Nd, com articulações fixas em ambas as extremidades, cuja estabilidade requeira o contraventamento lateral por elementos espaçados entre si da distância L1, devem ser respeitadas as seguintes condições adiante especificadas em função dos parâmetros mostrados na figura 6.



ATENÇÃO:
As emendas dos elementos de contraventamento e as suas fixações às peças principais contraventadas devem ser dimensionadas para resistirem às forças F1d

As forças F1d atuantes em cada um dos nós do contraventamento podem ser admitidas com o valor mínimo convencional de Nd/150, correspondente a uma curvatura inicial da peça com flechas da ordem de 1/300 do comprimento do arco correspondente.

A rigidez Kbr,1 da estrutura de apoio transversal das peças de contraventamento deve garantir que a eventual instabilidade teórica da barra principal comprimida corresponda a um eixo deformado constituído por m semi-ondas de comprimento L1 entre nós indeslocáveis. A rigidez Kbr,1 deve ter pelo menos o valor dado por:

$$K_{br,1,min} = 2\alpha_m \frac{\pi^2 E_{co,ef} I_2}{L_1^3}$$

Sendo:

$$\alpha_m = 1 + \cos\frac{\pi}{m}$$

m	α_m
2	1
3	1,5
4	1,7
5	1,8
∞	2

Onde:

m é o número de intervalos de comprimento L1 entre as (m-1) linhas de contraventamento ao longo do comprimento total L da peça principal;

L1 é a distância entre elementos de contraventamento;

Ec0,ef é o valor do módulo de elasticidade paralelo às fibras da madeira da peça principal contraventada;

I2 é o momento de inércia da seção transversal da peça principal contraventada, para flexão no plano de contraventamento.

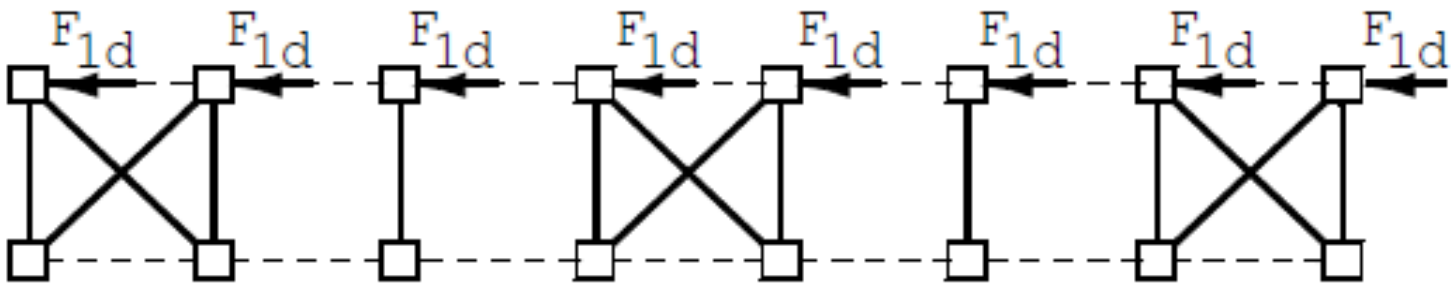
Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo :

Para um sistema estrutural principal, formado por uma série de n elementos estruturais planos em paralelo, cuja estabilidade lateral individual requeira contraventamento, deve ser prevista uma estrutura de contraventamento, composta por outros elementos estruturais planos, dispostos em planos perpendiculares ao plano dos elementos contraventados.

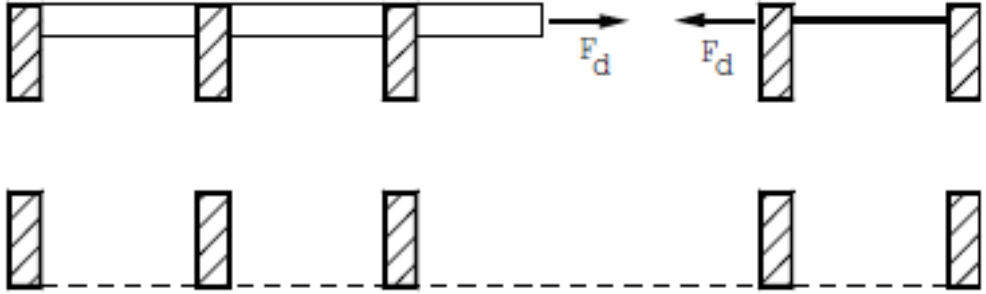
Se a estrutura de contraventamento estiver submetida a carregamentos externos atuantes na construção, os seus efeitos devem ser acrescidos aos decorrentes da função de contraventamento.

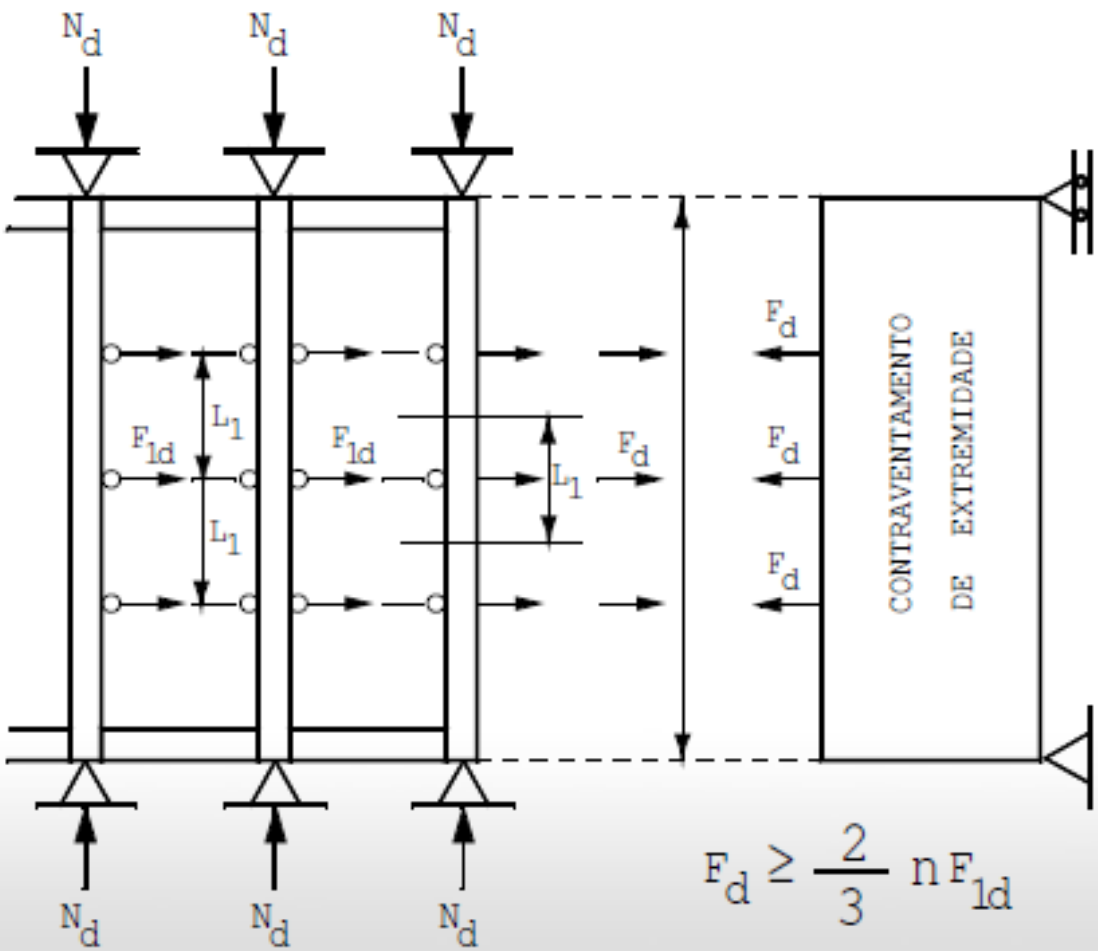
No caso de estruturas de cobertura, na falta de uma análise estrutural rigorosa, permite-se considerar a estrutura de contraventamento como composta por um sistema de treliças verticais, dispostas perpendicularmente aos elementos do sistema principal, e por treliças dispostas perpendicularmente ao plano dos elementos do sistema estrutural principal, no plano horizontal e no plano da cobertura, colocadas nas extremidades da construção e em posições intermediárias com espaçamentos não superiores a 20 m.

O sistema de treliças verticais é formado por duas diagonais, dispostas verticalmente em pelo menos um de cada três vãos definidos pelos elementos do sistema principal, e por peças longitudinais que liguem continuamente, de uma extremidade a outra da construção, os nós homólogos dos banzos superior e inferior dos elementos do sistema principal, como mostrado na figura abaixo:



Em cada nó pertencente ao banzo comprimido dos elementos do sistema principal, deve ser considerada uma força transversal ao elemento principal, com intensidade F1d = Nd/150, onde Nd é o valor de cálculo da resultante das tensões atuantes no banzo comprimido de um elemento do sistema principal.





$$F_d \geq \frac{2}{3}\, n\, F_{1d}$$

As estruturas de contraventamento das extremidades da construção, como mostrado na figura 8, e de eventuais posições intermediárias, quando existentes, devem resistir, em cada um de seus nós, a forças cujo valor de cálculo Fd corresponda pelo menos a 2/3 da resultante das n forças F1d existentes no trecho a ser estabilizado pela estrutura de contraventamento considerada

RIGIDÊZ DA ESTRUTURA DE CONTRAVENTEMENTO

A rigidez destas estruturas de contraventamento deve ser tal que o seu nó mais deslocável atenda à exigência de rigidez mínima:

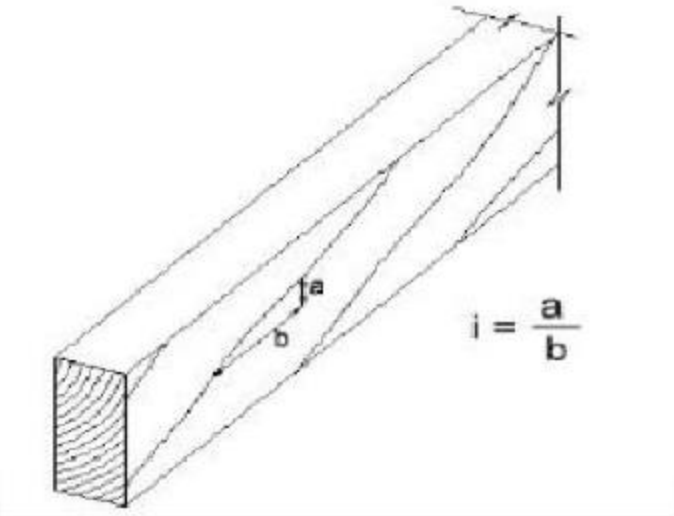
$$K_{br} \geq \frac{2}{3} n K_{br,1,min}$$

CLASSIFICAÇÃO VISUAL - REGRAS

Classe	Sigla	Descrição
Select Structural	SS	Menor índice de defeitos
N° 1	S1	Índices intermediários de defeitos
N° 2	S2	
N° 3	S3	Maior índice de defeitos, aconselhável a não utilização em estruturas

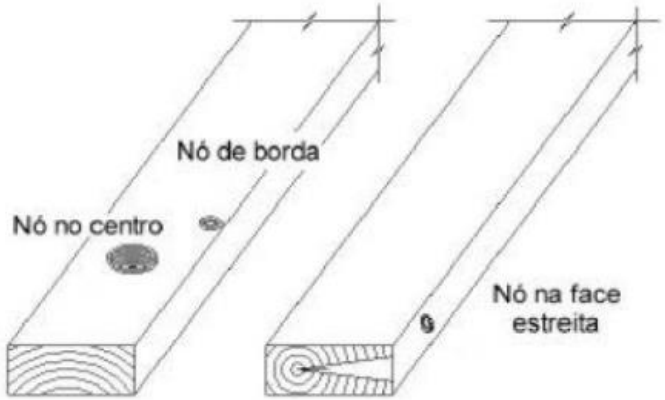
Classes visuais descritas na National Grading Rules
Fonte: National Grading Rules, apud CARREIRA (2002).

CLASSIFICAÇÃO VISUAL – INCLINAÇÃO DAS FIBRAS



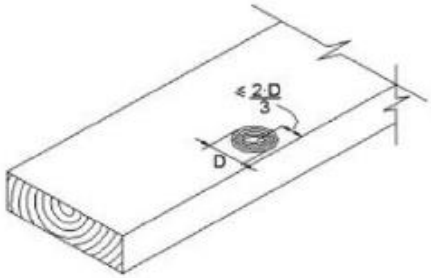
Medida da inclinação das fibras de uma peça de madeira.
Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994), apud CARREIRA (2002).

CLASSIFICAÇÃO VISUAL - NÓS

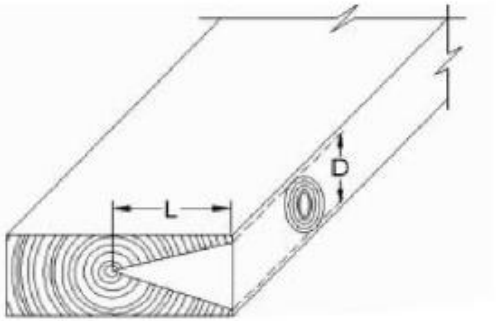


Identificação dos nós em uma peça de madeira.
Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994), apud CARREIRA (2002).

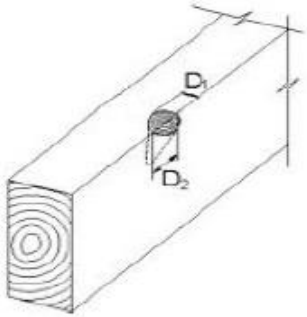
Fonte: ASTM D245-93, apud CARREIRA (2002).



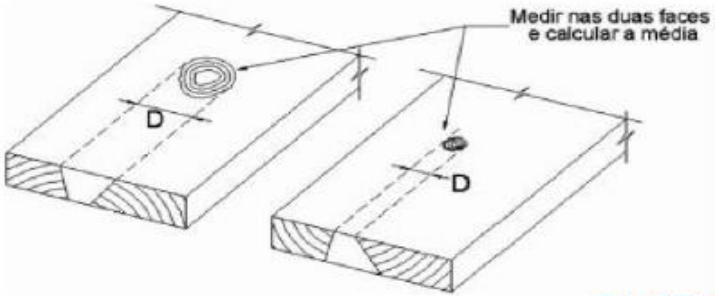
Nó na borda da uma peça.



Medida de um nó na face Estreita.

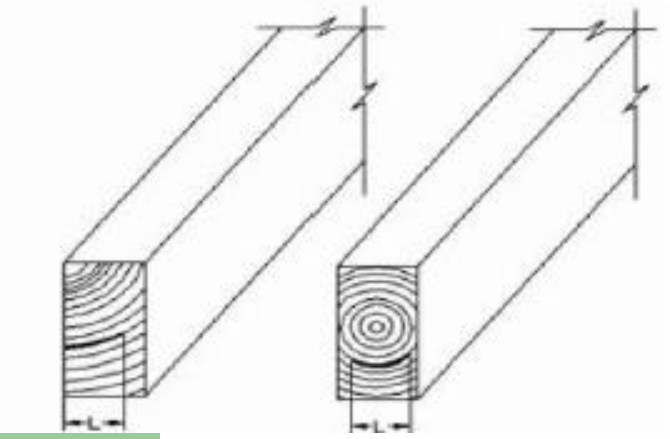


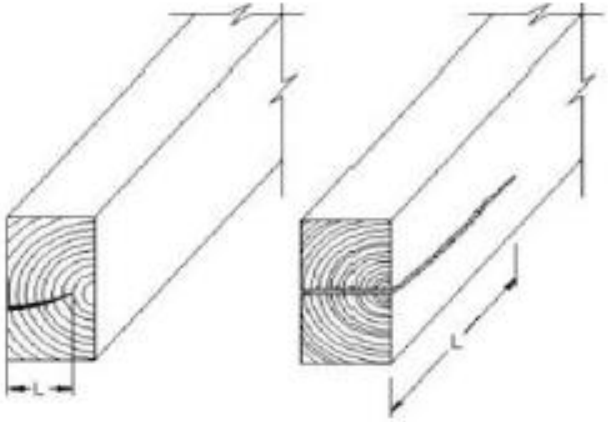
Medida de um nó de canto em peça com medula

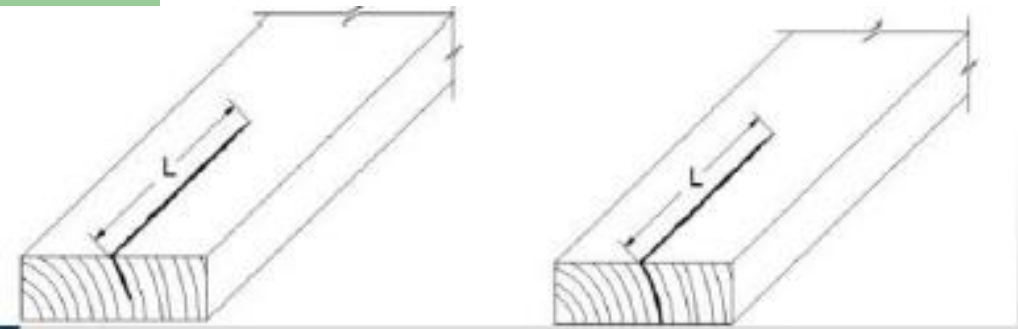


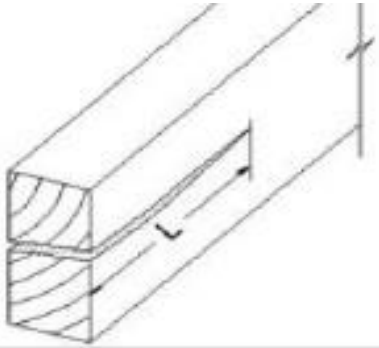
Medida do diâmetro dos nós em tábuas

CLASSIFICAÇÃO VISUAL – RACHAS ANELARES E FENDAS







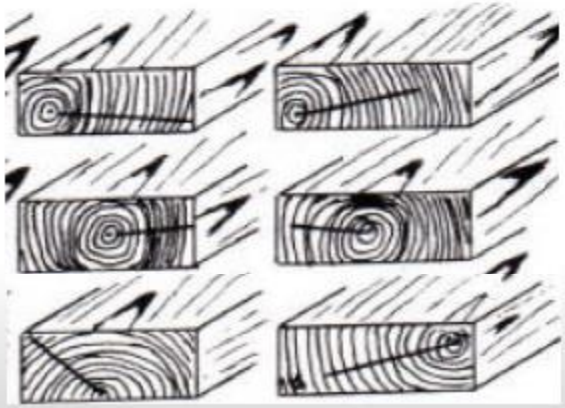


CLASSIFICAÇÃO VISUAL - DENSIDADE

Taxa de crescimento: É a quantidade de anéis de crescimento presentes em 2,5cm medida numa linha radial representativa.

Classe	Anéis / 1"	Quantidade de madeira de inverno
Densa	≥ 6 ≥ 4	> 1/3 > 1/2
Média	≥ 4	
Baixa	≤ 4	

Classes definidas na ASTM D245-93, apud CARREIRA (2002).



Linha radial representativa em peça com medula
Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994), apud CARREIRA (2002)

CLASSIFICAÇÃO VISUAL – TABELA DE VALORES

- Peças Classificadas Visualmente, de acordo com o SPIB:

  - Nós na face larga, borda e face estreita;

  - Inclinação das fibras;

  - Presença de fendas, rachas;

  - Medula e esmoado;

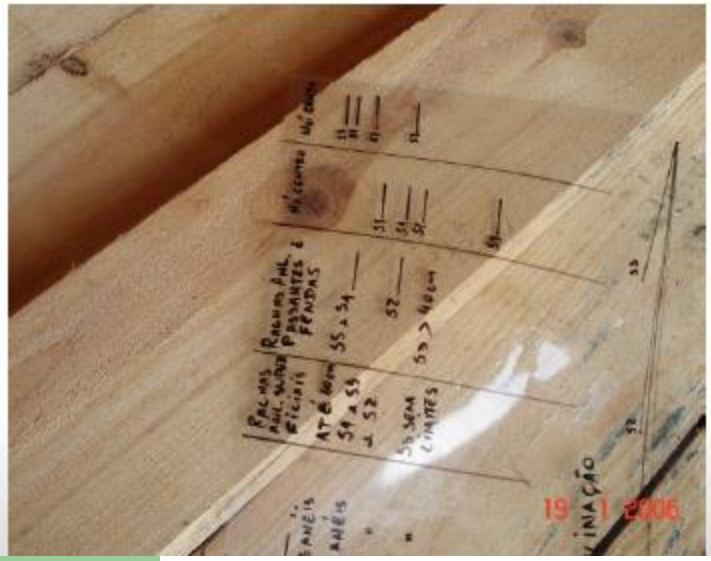
  - Densidade de cada peça.

Classe visual	Nós		Inclinação das fibras	Rachas anelares		Fendas
	Face estreita e canto da face larga	Centro da face larga		Passantes	Superficial	
S S	20%	35%	1 : 12	1 vez larg.	até	1 vez larg.
S 1	25%	45%	1 : 10	1 vez larg.	até	1 vez larg.
S 2	33%	50%	1 : 08	1,5 vez. larg.	até ¼ comp.	1,5 vez. larg.
S 3	¨50%	75%	1 : 04	1/6 comp. peça	sem limites	1/6 comp. peça

Fonte: CARREIRA (2002).

CLASSIFICAÇÃO VISUAL - RÉGUA

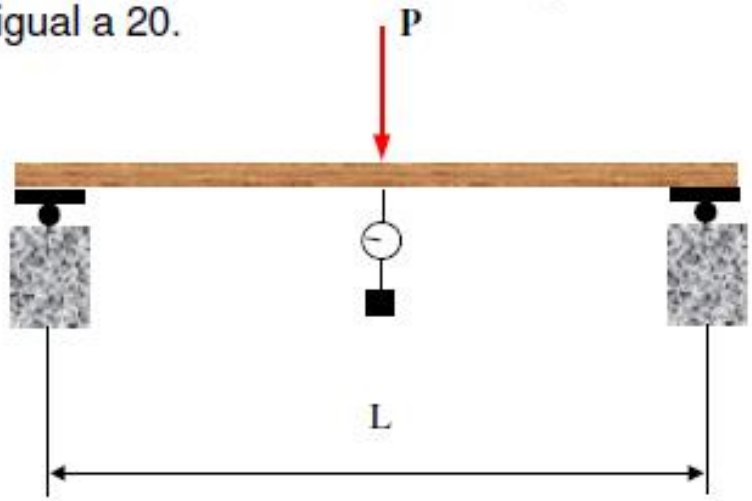
Classificação Visual:



ENSAIO ESTÁTICO

Neste método de classificação um carregamento conhecido é aplicado sobre a peça flexionando a mesma em relação ao seu eixo de menor inércia.

Com o objetivo de reduzir a influência do esforço cortante no deslocamento vertical e com isso determinar de forma mais precisa o MOE das lâminas é recomendado uma relação L/d maior ou igual a 20.



ENSAIO ESTÁTICO

Classificação Mecânica:

MOE = Módulo de Elasticidade;

P = Carga aplicada;

L = Distância entre apoios;

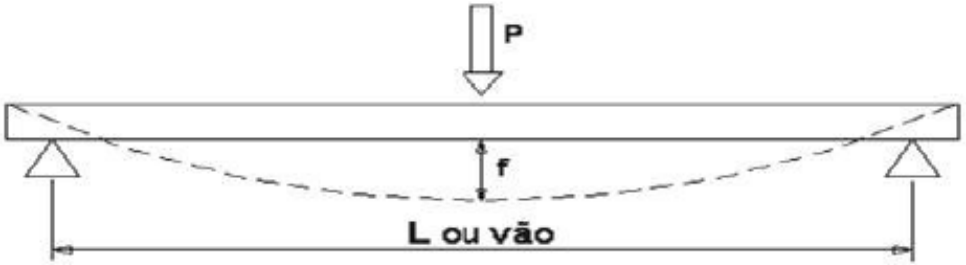
f = flecha no centro da peça;

I = Inércia;

$$MOE = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot f \cdot I}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$MOE = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3}$$



Classificação Mecânica:

ULTRA-SOM

STEINKAMP

V-METER

SILVATEST

$$V = \sqrt{\frac{E_d\,(1-\mu_{LT})}{\rho\,(1+\mu_{LT})(1-2\mu_{LT})}}$$

$$V = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}}$$

VELOCIDADE (m/s)

Água = 1480

Alumínio = 6320

PVC = 2395

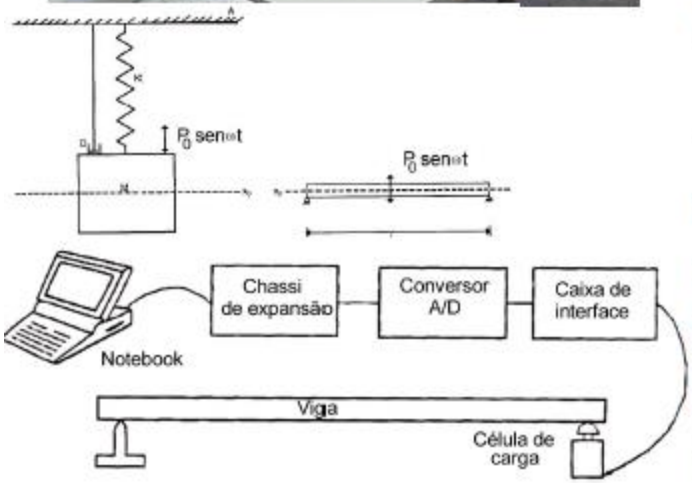
Madeira = 5000

CARACTERÍSTICAS

- A avaliação pode ser feita na peça ou estrutura (in loco)
- Não altera a capacidade de uso final do material
- Detecção em tempo real
- Possibilidade de quantificar a dimensão de defeitos
- Avaliação da madeira ainda na floresta (árvore ou toras)
- É o equipamento mais versátil

VIBRAÇÃO TRANSVERSAL

METRIGUARD



Para ilustrar o método da vibração transversal, pode-se fazer uma analogia do comportamento da vibração de uma viga com a vibração de uma massa apoiada sobre uma mola, conforme mostra a figura.

Na figura a massa é suportada por uma mola de rigidez K.

A fricção interna (amortecimento) é denotada por ξ.

Quando a massa M é colocada em vibração, sua equação de movimento pode ser expressa por:

$$M \cdot \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) + \xi \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right) + K \cdot x = Po \cdot sen\,\omega \cdot t$$

$$MOE = \frac{f_r^{\,2} \cdot m \cdot L^3}{2{,}46 \cdot I \cdot g}$$

fr = freqüência de ressonância (Hz)

m = peso da viga (Kg)

L = vão da peça (m)

I = inércia da seção transversal (cm4)

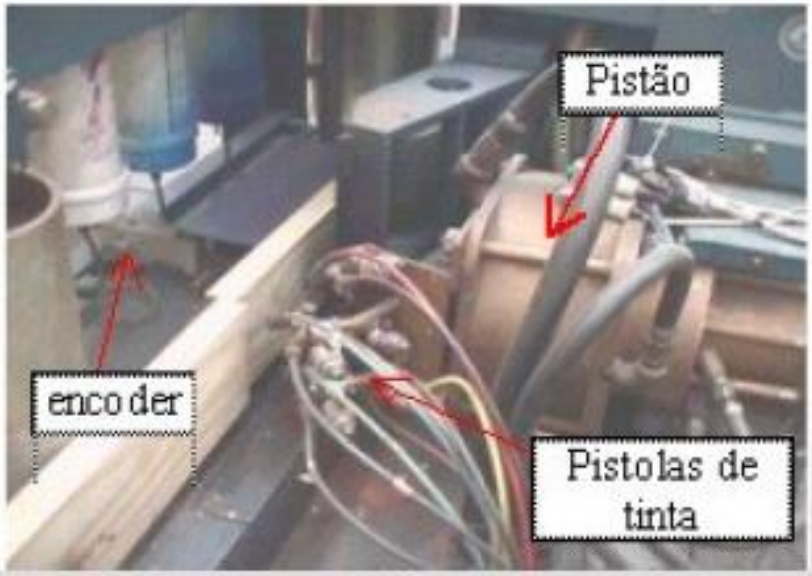
g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

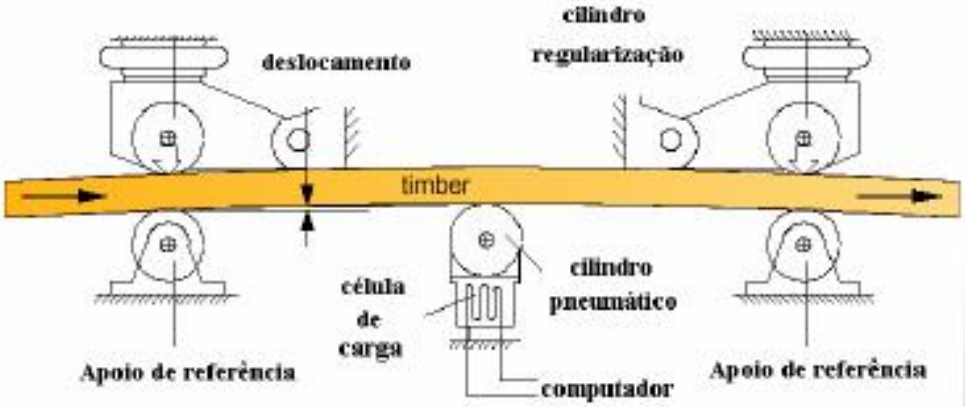
MSR

Este processo é altamente automatizado e rápido.

Ao entrar na máquina, a madeira passa por uma série de rolos.

Neste processo, uma força provocando flexão é aplicada perpendicularmente ao eixo de menor inércia da seção transversal da peça e o MOE de cada peça é medido ,em particular na máquina do Brasil a cada 15cm.





EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1) O que significa classificar a madeira?

2) Qual a importância da classificação da madeira?

3) Cite os principais métodos de classificação de madeira?

4) Em sua opinião qual é o método de classificação mais prático? Comente.

5) Por que é indispensável a realização dos dois tipos de classificação (visual e mecânica)?