

SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

TC 038 - Construção Civil III
ESTRUTURAS DE MADEIRA
CONCEITOS GERAIS
Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos



2020



Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EMENTA

2

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipos de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações



INTRODUÇÃO

3

MADEIRA: GENERALIDADES

- Material orgânico, vegetal, abundante e renovável na natureza
- Pela facilidade de ser trabalhada e grande quantidade disponível, sempre foi muito utilizada na construção civil
- Em países como Noruega, Suécia, Canadá e Austrália a madeira fundamenta **90%** da construção habitacional
- Aplicações:
 - ✓ Obras definitivas (pontes, coberturas, estruturas em geral)
 - ✓ Obras provisórias (escoramento, andaimes)
 - ✓ Material auxiliar (formas)
 - ✓ Acabamento (lambris, forros, rodapés)



INTRODUÇÃO

4

MADEIRA: GENERALIDADES

- Do ponto de vista estrutural, compete com o aço e com o concreto, embora haja **preconceito** quanto à sua durabilidade e resistência



- Indústrias de aço e cimento: unidades de grande porte acompanhadas de normas técnicas → padronização
- Madeira: produto de serrarias de pequeno porte → falta de padronização, em geral pouco acompanhamento técnico



INTRODUÇÃO

5

MADEIRA: GENERALIDADES

- Vantagens:

- ✓ Elevada resistência mecânica
- ✓ Simplicidade quando compara ao concreto – utiliza apenas madeira e elementos de fixação (pregos, parafusos, cantoneiras, etc.) → não necessita de cura!
- ✓ Consome menos energia de produção
- ✓ Estruturas leves → fundações menos carregadas
- ✓ Isolantes térmico e acústico naturais
- ✓ Obra sem desperdício
- ✓ Adapta-se bem aos processos de pré-fabricação
- ✓ Boa relação entre peso e resistência mecânica
- ✓ Menos mão de obra necessária, quando comparada ao CA



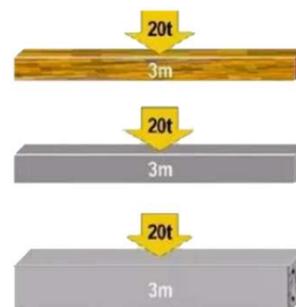
INTRODUÇÃO

6

MADEIRA: GENERALIDADES

- Vantagens:

- ✓ Resistência mecânica/densidade
- ✓ Ex.: viga de 3 m de comprimento apoiada nas extremidades e que deverá suportar uma carga de 20 toneladas:
 - Viga em madeira (Pinho vermelho) ~ 60 kg
 - Viga em aço laminado ~ 80 kg
 - Viga em concreto armado ~ 300 kg



<http://www.carpinteria.com.br>



INTRODUÇÃO

7

MADEIRA: GENERALIDADES

- Desvantagens:
 - ✓ Higroscopia (absorve água): variação do volume e resistência conforme varia umidade da madeira
 - ✓ Durabilidade limitada quando desprotegidas
 - ✓ Defeitos
 - ✓ Anisotrópica: a resistência depende da direção de aplicação da carga → variação das propriedades físicas e mecânicas dentro da mesma espécie e apresentação de defeitos



INTRODUÇÃO

8

MADEIRA: GENERALIDADES

- Desvantagens:
 - ✓ Um dos grandes problemas nas estruturas de madeira é o ataque por fungos que causa o apodrecimento → depende diretamente da quantidade de água na madeira
 - Umidade de equilíbrio < 20% → considerada insuficiente a ação dos fungos
 - Umidade ideal para proliferação: 40 – 75%
 - Temperatura ideal para proliferação: 25 – 30°C





INTRODUÇÃO

9

MADEIRA: HISTÓRICO



- Usada desde a antiguidade
- Início da colonização do Brasil → madeira maciça foi largamente explorada:
 - ✓ Para que essa exploração não fosse feita de forma indiscriminada foi criada pelo império uma lei para evitar o esgotamento das reservas das melhores madeiras
 - ✓ Nesta lei existia uma lista das melhores madeiras para serem usadas na CC → “madeira de lei” - madeira que possui boas qualidades. Ex.: Angelim, Ipê, Jatobá, etc.



INTRODUÇÃO

10

MADEIRA: HISTÓRICO

- Decadência da madeira → Revolução Industrial: Inglaterra impõe a arquitetura em metal e a invenção do CA → estudos se concentraram no novo material
- Nos últimos anos → esforço no sentido de **reabilitar a madeira como material principal de construção**



INTRODUÇÃO

11

MADEIRA: HISTÓRICO

- Cada local tem os seus tipos e espécies de árvores → homem adaptou suas necessidades ao que era disponível
- Cada clima e terreno determinam um método diferente no uso da madeira

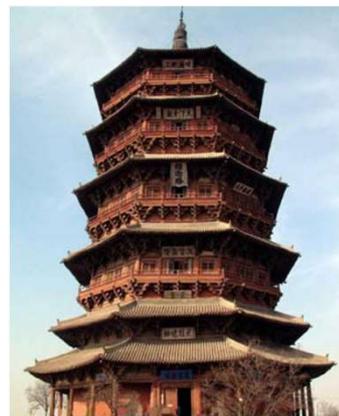


INTRODUÇÃO

12

MADEIRA: HISTÓRICO

- YINGXIAN PAGODA CHINA
 - ✓ Construído em 1056
 - ✓ 61 m de altura
 - ✓ Estrutura totalmente em madeira





INTRODUÇÃO

13

MADEIRA: HISTÓRICO

- Noruega: arquitetura marcante em madeira → muitas florestas e clima frio
- Os habitantes locais utilizavam a madeira como principal elemento construtivo devido à sua característica isolante térmica



EMENTA

14

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações

UFPR **MADEIRA E SUSTENTABILIDADE** Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

15

CONSTRUÇÃO CIVIL

Importante atividade para o desenvolvimento econômico e social

X

Grande consumo de recursos e emissões de GEE

Sustentabilidade → Foco de atenção nas pesquisas na área da tecnologia dos materiais de construção civil



UFPR **MADEIRA E SUSTENTABILIDADE** Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

16

- Aumento da concentração de CO₂: um dos fatores determinantes para as mudanças climáticas → grande emissão em comparação a outros GEE
- Concentração atmosférica de CO₂: 414,8 partes por milhão (ppm) em maio de 2019, 3,5 ppm acima do mesmo período do ano anterior, pelas leituras do observatório Mauna Loa (Havaí), onde o dióxido de carbono é monitorado desde 1958

Concentrações de mais de 450 ppm arriscam eventos climáticos extremos e a temperatura pode subir até 2°C





MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

17

- Emissões de CO₂ é maior em indústrias com alto consumo energético e que fabricam grandes quantidades de produtos: cimenteira e a siderúrgica
- Setor da construção: responsável por cerca de 40% da demanda global de energia primária



Reapresentação da madeira à sociedade atual como uma alternativa mais ambientalmente adequada a materiais como metais, plásticos, compostos de cimento e outros



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

18

- Durante o processo produtivo utilizam como fonte de energia a própria madeira
- Durante seus ciclos de vida, impactam o meio ambiente de maneira incomparável
- Madeira é empregada em habitações, constitui uma ferramenta para fixação do carbono, contribuindo assim para uma redução da emissão dos GEE

O uso de madeira, certificada, como elemento permanente em uma edificação durável, é uma forma de fixar carbono!





MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

19

- Madeira: único material de construção **reciclável e renovável**
- Manejo das florestas plantadas ou nativas é a forma correta de utilização dos recursos naturais → a previsão da utilização da madeira permite a **recomposição da floresta**
- Para o manejo de florestas nativas ser considerado mais sustentável ou menos ambientalmente impactante, este deve pressupor uma **extração de baixo impacto**



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

20

- O desenvolvimento sustentável tem exigido que as madeireiras procurem a utilização de **madeiras de reflorestamento (certificadas)**, porque a extração é controlada e não agride o meio ambiente → Forma de exigir: Selo FSC (*Forest Stewardship Council*) de certificação ambiental que assegura que a madeira é de origem responsável



A marca do manejo
florestal responsável



Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

21

Tabela 1 - Consumo de energia na produção de alguns materiais
(FONTE: LNEC, 1976)

1 tonelada de madeira consome $2,4 \times 10^3$ kcal de energia
1 tonelada de concreto consome 780×10^3 kcal de energia
1 tonelada de aço consome 3000×10^3 kcal de energia

BALANÇO DE CO₂ NA PRODUÇÃO DOS MATERIAIS MAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

(+ Emite para a Atmosfera		(-) Retira da Atmosfera
MATERIAL	Densidade média (Kg/m ³)	EFEITO CO ₂ (Kg)
Aço	7.000	+ 5.000
Cimento	2.300	+ 2.500
Bloco Cerâmico	830	+ 790
Concreto	1.600	+ 375
Madeira	750	- 1.000

<http://www.carpinteria.com.br>



Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos



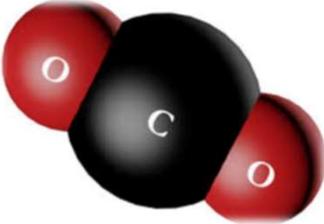
MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

22

- Pouca energia (elétrica) para extração e preparação, contém muito carbono → 41 a 45% da biomassa seca
- Pode ser um fixador de carbono nas edificações

Molécula CO₂

1kg de C fixado equivale
3,67 kg de CO₂ não emitidos



11



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

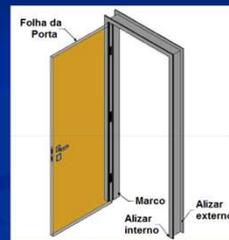
23

Madeira e derivados nas obras:

Exemplos:



Piso laminado com 8mm pesa 7,15kg/m² contém 2,86kg de carbono/m² e evita a emissão de **10,5kg** de CO₂ por m²



Porta interna de madeira (completa) 37kg contém 15kg de carbono evita a emissão de **54,9kg** de CO₂

FREITAS JR (2017)



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

24

Madeira e derivados nas obras:

Exemplos:



Piso de tábuas de Ipê - 2 cm pesa 20 kg/m² contém 8,5 kg de carbono/m² e evita a emissão de **31 kg** de CO₂ por m²



Forro ou lambril de Ipê com 8 mm = 6,4 kg/m² contém 2,7 kg de carbono/m² e evita a emissão de **9,9 kg** de CO₂ por m²

FREITAS JR (2017)





MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

25

CUIDADO:

- Atividade madeireira: apresenta altos índices de desperdício → 2/3 de todas as árvores exploradas na Amazônia viram sobras ou serragens → apenas 1/3 da madeira extraída é transformada em produtos finais
- Resíduos desta produção → grande quantidade de madeira e que não têm um destino correto



MADEIRA E SUSTENTABILIDADE

26

CUIDADO:

- Indústria da madeira: situações que usa os recursos naturais de maneira ineficiente, tanto na obtenção da matéria prima, quanto na fase de produção e descarte dos produtos





EMENTA

27

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações



PROPRIEDADES

28

- Constituída pelo conjunto dos tecidos que formam a massa dos troncos da árvore, desprovidos de casca
- Botanicamente podem ser classificadas em dois tipos:
 - Endógenas: crescimento se dá pela adição de novas camadas internamente (dentro pra fora) → Ex.: palmeiras e bambus
 - Exógenas: crescimento se dá pela adição de camadas concêntricas externas (fora para dentro) – indicadas para a Construção Civil → compreendem as **coníferas e folhosas**

UFPR

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROPRIEDADES

29

CONÍFERAS	FOLHOSAS
<ul style="list-style-type: none">• Madeiras “moles” → menor resistência, menor densidade• Típicas de regiões de clima frio• Exemplos: Pinho do Paraná e Pinus	<ul style="list-style-type: none">• Madeiras “duras” → maior resistência, têm maior densidade• Regiões de clima quente• Exemplo: praticamente todas as espécies de madeira da região amazônica, Peroba Rosa, Aroeira, os Eucaliptos, etc.

UFPR

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROPRIEDADES

30

UMIDADE

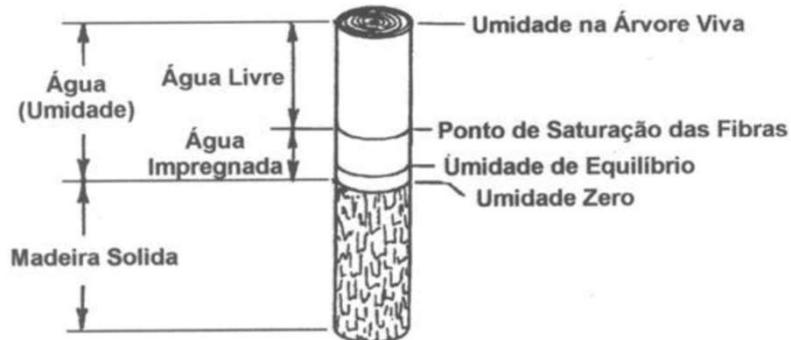
- Madeira sólida: sem qualquer teor de umidade
- Água livre: contida nas cavidades das células, difícil de ser eliminada por secagem
- Água impregnada: contida nas paredes das células, difícil de ser eliminada
- Para fins de aplicação estrutural a NBR 7190 especifica a umidade de 12% como teor de referência para ensaios e cálculos (??)



PROPRIEDADES

31

UMIDADE



- Ponto de saturação: mínimo de água livre e máximo de água de impregnação (~ 25% para madeiras brasileiras)



PROPRIEDADES

32

DENSIDADE

- DENSIDADE BÁSICA = $\frac{\text{MASSA SECA}}{\text{VOLUME SATURADO}}$
- DENSIDADE APARENTE = $\frac{\text{MASSA A 12\% (PADRÃO)}}{\text{VOLUME SATURADO}}$

Na classificação da madeira e para dimensionamento é usada a densidade aparente

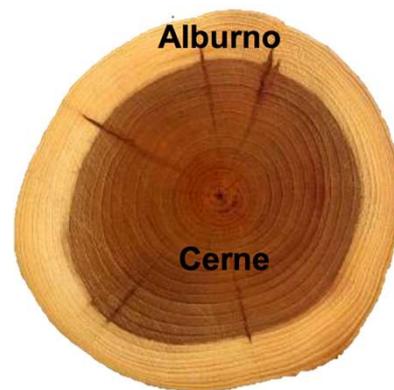


PROPRIEDADES

33

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência depende da posição na estrutura fisiológica do tronco:
 - ✓ Cerne: parte do tronco constituído de células mortas → preferido para usos em que se requeira **durabilidade e resistência mecânica**
 - ✓ Alburno: porção viva do tronco → **células menos resistentes** do que as do cerne



PROPRIEDADES

34

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Diferentes segundo as três direções principais da madeira, mas muito parecidas para os eixos tangencial e radial → Por isso, na prática considera-se as **direções paralela e normal às fibras**





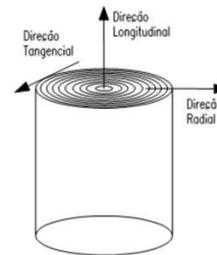
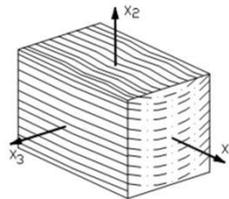
PROPRIEDADES

35

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência à compressão:
 - ✓ Compressão paralela às fibras → longitudinal: f_{c0}
 - ✓ Compressão normal às fibras → tangencial e radial: f_{c90}

$$\frac{f_{c90}}{f_{c0}} = 0,25$$

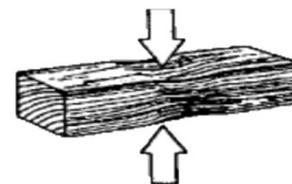


PROPRIEDADES

36

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Compressão paralela → tendência de encurtar as células da madeira ao longo do seu eixo longitudinal → as células, em conjunto, conferem uma **grande resistência à madeira na compressão**
- Compressão normal → comprime as células da madeira perpendicularmente ao eixo longitudinal



ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO → PINUS

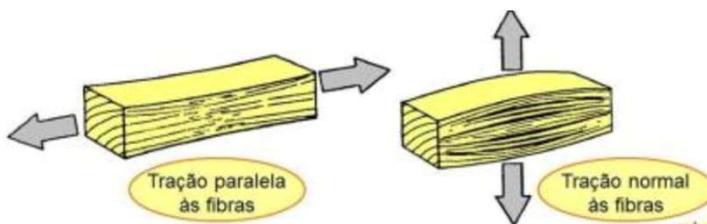


PROPRIEDADES

38

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência à tração:
 - ✓ Tração paralela às fibras: f_{t0} → Elevada resistência e baixa deformabilidade
 - ✓ Tração normal às fibras: f_{t90} → Baixa resistência mecânica (deve-se desconsiderar nos projetos) e alta deformabilidade



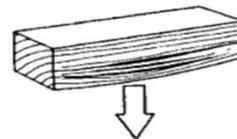
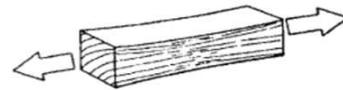


PROPRIEDADES

39

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência à tração:
 - ✓ Tração paralela: alongamento das células da madeira ao longo do eixo longitudinal
 - ✓ Tração normal: tende a separar as células da madeira perpendicular aos seus eixos, onde a resistência é baixa, devendo ser evitada

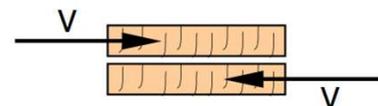
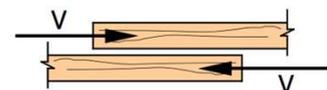
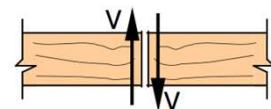


PROPRIEDADES

40

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência ao cisalhamento:
 - ✓ Cisalhamento vertical: não é crítico, muito antes da ruptura por cisalhamento, ocorre ruptura por compressão normal
 - ✓ Cisalhamento horizontal: tendência das células de separarem e escorregarem longitudinalmente
 - ✓ Cisalhamento perpendicular: tendência das células rolarem umas sobre as outras, transversalmente ao eixo longitudinal



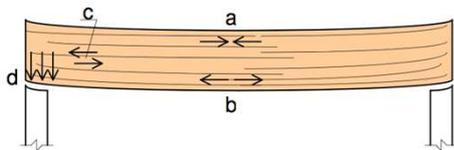


PROPRIEDADES

41

PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

- Resistência à flexão simples:
 - a) Compressão paralela às fibras, no banzo superior, para momentos positivos
 - b) Tração paralela às fibras, no banzo inferior, para momentos positivos
 - c) Cisalhamento horizontal entre as fibras
 - d) Compressão normal às fibras, na região dos apoios



PROPRIEDADES

42

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

- Madeira: material de origem biológica → variações na sua estrutura que podem acarretar mudanças nas suas propriedades
- Fatores principais:
 1. Anatômicos
 2. Ambientais
 3. De utilização



PROPRIEDADES

43

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

1. Anatômicos:

- ✓ Densidade: quanto maior a densidade, maior é a quantidade de madeira por volume e como consequência a resistência também aumenta
- ✓ Inclinação das fibras: desvio da orientação das fibras da madeira em relação a uma linha paralela à borda da peça (norma brasileira permite desconsiderar a influência da inclinação das fibras para ângulos de até 6°)



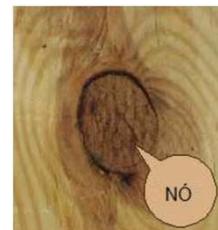
PROPRIEDADES

44

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

1. Anatômicos:

- ✓ Nós: reduzem a resistência da madeira pelo fato de interromperem a continuidade e direção das fibras





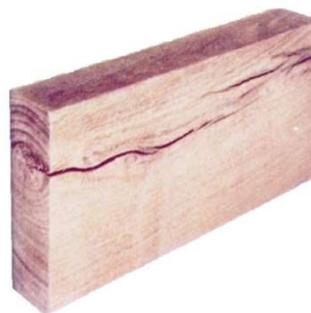
PROPRIEDADES

45

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

1. Anatômicos:

- ✓ Falhas naturais na madeira: encurvamento do tronco e dos galhos durante o crescimento da árvore



PROPRIEDADES

46

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

2. Ambientais:

- ✓ Ataque por agentes biológicos: ataques provenientes de fungos ou insetos





PROPRIEDADES

47

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

3. De utilização:

- ✓ Defeitos de secagem: deficiência dos sistemas de secagem e armazenamento das peças



Torcimento



Encurvamento



Arqueamento



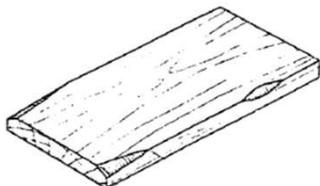
PROPRIEDADES

48

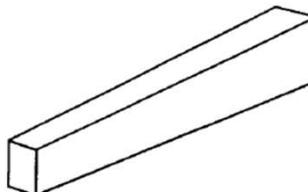
FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES

3. De utilização:

- ✓ Defeitos de processamento: arestas quebradas e/ou variação da seção transversal



Arestas quebradas



Variação da seção transversal



EMENTA

49

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

50

MACIÇAS

- Madeira roliça ou bruta: troncos, na sua forma natural, sem casca → menor grau de processamento



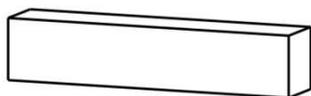


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

51

MACIÇAS

- Madeira serrada: seções comercialmente disponíveis, de seção retangular → toras são transformadas em peças de dimensões menores



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

52

INDUSTRIALIZADAS

- Madeira compensada: chapas produzidas com lâminas de pequena espessura, sobrepostas, coladas entre si, com a orientação das fibras alternadamente dispostas



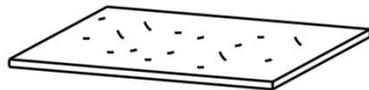


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

53

INDUSTRIALIZADAS

- Madeira recomposta: chapas produzidas por fibras de madeira de comprimentos pequenos (~ até 10 cm), recompostas com a orientação das mesmas → painéis OSB (*Oriented Strand Board*)



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

54

INDUSTRIALIZADAS

OSB – ORIENTED STRAND BOARD



O OSB é um painel estrutural de tiras de madeira orientadas perpendicularmente, em várias camadas, o que aumenta sua resistência mecânica e rigidez. Essas tiras são unidas com resinas aplicadas sob altas temperaturas e pressão.

Através desse processo de engenharia altamente automatizado, os painéis são permanentemente controlados e testados para verificar seus níveis de acordo com rígidos padrões de qualidade.





TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

55

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- Processadas industrialmente para otimizar seu uso particularmente na construção
- Soluções inovadoras e sustentáveis para a construção civil e a arquitetura
- Resultado da aplicação de tecnologias e processos produtivos avançados, com uma criteriosa seleção da madeira, objetivando a eliminação dos defeitos naturais indesejáveis na matéria-prima
→ **aumento geral de seu desempenho**

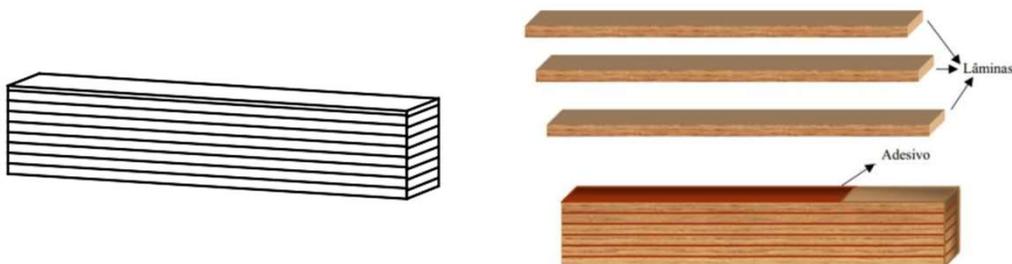


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

56

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **MLC** (Madeira Laminada Colada): seções retangulares convencionais, de comprimentos variáveis, compostas por lâminas de espessura média (aproximadamente 2 a 3 cm), sobrepostas, coladas entre si, com a orientação das fibras paralelamente dispostas





TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

57

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **MLC:**
 - ✓ Mais frequentes: cobertura, elementos estruturais principais, edifícios, escadas, equipamentos decorativos, esquadrias e móveis, etc.
 - ✓ Adaptar-se a uma significativa variedade de formas e apresentar alta resistência a solicitações mecânicas em função de seu peso próprio relativamente baixo

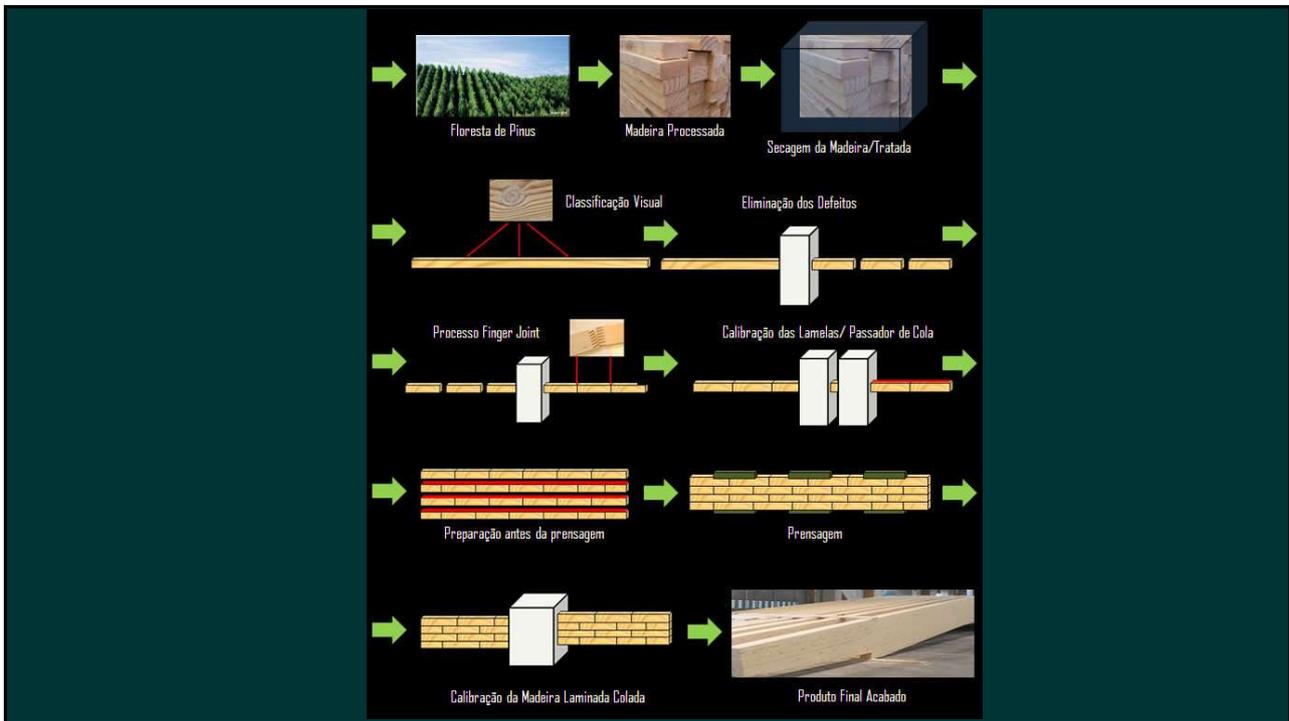


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

58

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **MLC:**
 - ✓ Alta capacidade de carga e um baixo peso próprio → permite componentes de pequenas dimensões
 - ✓ Proporciona grande flexibilidade com curvaturas
 - ✓ Alta resistência ao fogo: a camada carbonizada é formada ao redor do núcleo reduzindo a entrada de oxigênio e calor - atrasando assim o colapso
 - ✓ Resistente a substâncias químicas e agressivas



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

60

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **CLT** (*Cross Laminated Timber*): laminado de madeira cruzada
 - ✓ Consistem na sobreposição de camadas de lâminas de madeira maciça coladas em sentidos opostos e alternados
 - ✓ A laminação cruzada melhora as propriedades estruturais dos painéis através da distribuição de força ao longo das fibras da madeira em ambos os sentidos, o que praticamente elimina qualquer retração ou deformação → **umenta resistência!**



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

61

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **CLT** (*Cross Laminated Timber*): laminado de madeira cruzada

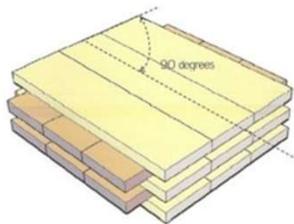
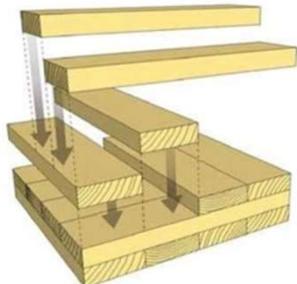


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

62

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **CLT** (*Cross Laminated Timber*): laminado de madeira cruzada





TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

63

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **NLT** (*Nail Laminated Timber*): Madeira Laminada Pregada
 - ✓ Madeiras empilhadas e travadas no centro com pregos
 - ✓ Revestimento: chapas de compensado ou OSB



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

64

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **NLT** (*Nail Laminated Timber*): Madeira Laminada Pregada





TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

65

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **DLT** (*Dowel Laminated Timber*): Madeira Laminada Cavilhada
 - ✓ Lâminas são justapostas e conectadas entre si por cavilhas, formando painéis contínuos, que estruturalmente podem ser considerados maciços, compostos exclusivamente de madeira

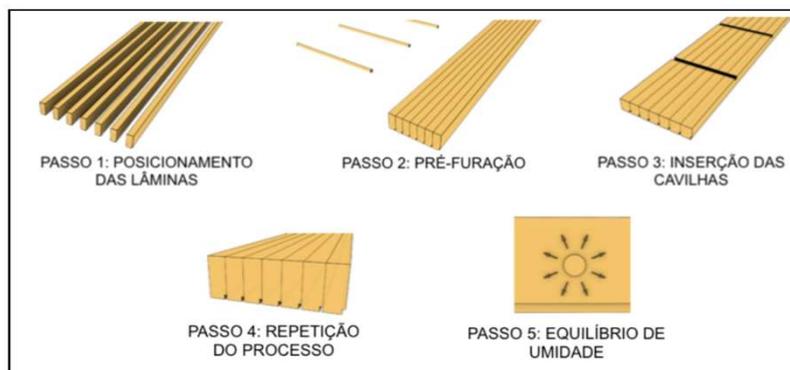


TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

66

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **DLT** (*Dowel Laminated Timber*): Madeira Laminada Cavilhada





TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

67

INDUSTRIALIZADAS → MADEIRA “ENGENHEIRADA”

- **DLT** (*Dowel Laminated Timber*): Madeira Laminada Cavilhada
 - ✓ O que diferencia os painéis de DLT e NLT (tecnologia precursora do DLT) é o tipo de conector:
 - NLT: pregos metálicos
 - DLT: cavilhas de madeira de alta densidade e espécies folhosas



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

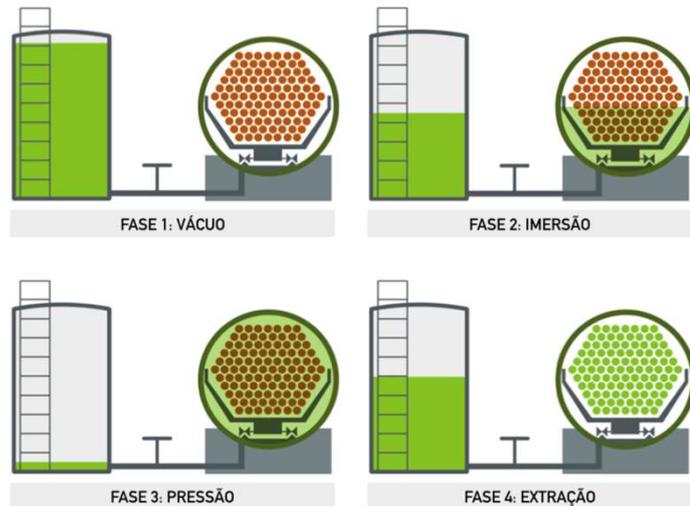
68

TRATAMENTO

- Madeira tratada: procedimento ou conjunto de medidas que possam conferir à madeira em uso maior resistência aos agentes de deterioração, proporcionando maior durabilidade
- Aplicação dos produtos na madeira pode ser realizada:
 - ✓ Sem pressão (impregnação superficial)
 - ✓ Com pressão: a impregnação é profunda e realizada por meio de uma **autoclave** - impregnar profundamente a madeira com produtos inseticidas e fungicidas, protegendo-a contra o apodrecimento, o cupim e outros agentes biológicos

PROCESSO DO TRATAMENTO EM AUTOCLAVE

- **Vácuo:** abertura dos poros da madeira é provocada pela submissão das peças a um forte vácuo para retirada do ar existente no interior das células, dentro da autoclave
- **Imersão:** sob vácuo, o químico utilizado é introduzido no tanque
- **Pressão:** para que o produto penetre nos poros do material
- **Extração:** a pressão é aliviada e o tratamento é finalizado



Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

70

TRATAMENTO

- Os produtos mais utilizados são:
 - ✓ Creosoto: preservativo oleoso eficiente, mas a sua desvantagem é a dificuldade de aplicar tintas e vernizes sobre a madeira → geralmente somente em madeiras que não serão utilizadas para fins decorativos
 - ✓ CCA: aplicado na madeira em autoclave: através da pressão, o produto é introduzido nas células da madeira → apesar de o **CCA ser largamente utilizado (+ usado em Curitiba)**, ele não possui eficácia contra os fungos manchadores
 - ✓ CCB: alternativa livre de arsênico para preservantes de madeira; a diferente entre os dois, além do CCB não possuir o arsênico, está no fato de que o CCB é levemente suscetível à lixiviação



TIPOS DE PEÇAS DE MADEIRA

71

DIMENSÕES COMERCIAIS DAS PEÇAS

- Dependem da região
- Curitiba: costume de se comercializar madeira serrada em dimensões proporcionais a 2 - 2,5 cm, ou em polegadas
- Cuidado: em estruturas de madeira aparentes as dimensões da seção transversal das peças brutas acabam perdendo em torno de 0,5 cm por superfície plainada → verificação das peças devem levar em conta esta perda
- Peças de madeira são comercializadas em comprimentos correspondentes a múltiplos de 50 cm
- Limitação do comprimento → função da espécie



EMENTA

72

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações

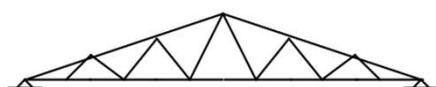




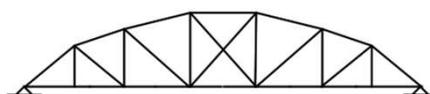
TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

73

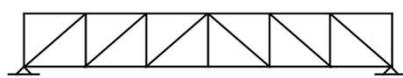
- Trelças e Tesouras:



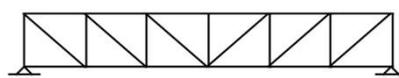
TIPO BELGA



TIPO BOWSTRING



TIPO HOWE ou INGLESAS



TIPO PRATT ou AMERICANAS



TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

74

- Trelças e Tesouras:

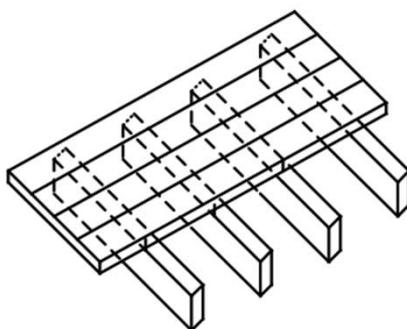




TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

75

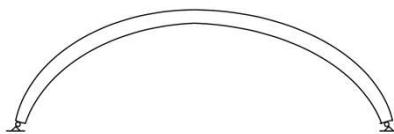
- Vigamentos: bastante usado para a confecção de pisos, em que vigas são dispostas a distâncias pequenas entre si, dando apoio a peças transversais e tábuas, ou dando apoio diretamente às tábuas



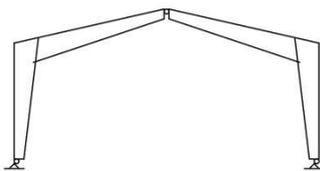
TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

76

- Arcos: podem ser treliçados ou de seções compostas por laminas de madeira laminadas e coladas



- Árticos





TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

77

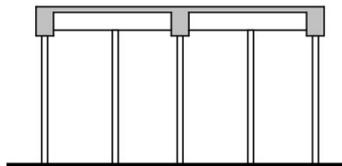
- Pontes:



TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

78

- Escoramento:

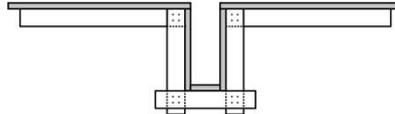




TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

79

- Formas para concreto:



TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

80

- Geral:





TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

81

- Geral:



TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

82

- Geral:





TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

83

- Geral:



TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

84

- Geral:





TIPOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

85

- Geral:



EMENTA

86

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto 
- Introdução à execução: conceitos gerais e ligações



PROJETOS

87

- Projeto estrutural: propriedades mecânicas da madeira e dimensionamento → NBR 7190:1997: Projetos de Estruturas de Madeira (**norma em revisão**)
- Demais normas:
 - ✓ NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de Edificações
 - ✓ NBR 8681: Ações e Segurança nas Estruturas
 - ✓ NBR 6123: Forças devidas ao **Vento** em Edificações



PROJETOS

88

- NBR 7190 → estabelece que o projeto de uma construção de madeira é composto por **memorial justificativo, desenhos**, e, quando houverem particularidades do projeto que interfiram na construção, por um **plano de execução**
- Memorial justificativo:
 - ✓ Descrição do arranjo global tridimensional da estrutura
 - ✓ Ações e condições de carregamento admitidas
 - ✓ Esquemas adotados na análise dos elementos estruturais e identificação de suas peças
 - ✓ Análise estrutural e propriedades dos materiais
 - ✓ Dimensionamento e detalhamento esquemático das peças estruturais, emendas, uniões e ligações





PROJETOS

89

- Os esforços de cisalhamento e momento, são dimensionados conforme o ELU e a flecha para o ELS, sendo:
 - ✓ ELU: estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralização do uso da estrutura
 - ✓ ELS: estado relacionado a durabilidade da estrutura, aparência, conforto ao usuário e boa utilização



PROJETOS

90

- Caracterização da Resistência

Caracterização Completa

- Para espécies desconhecidas.

Caracterização Mínima

- Para espécies pouco conhecidas.

Caracterização Simplificada

- Para espécies bem conhecidas.

UFPR

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROJETOS

91

- Caracterização completa

- Resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$)
- Resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$)
- Resistência à compressão normal às fibras ($f_{c,90}$)
- Resistência à tração normal às fibras ($f_{t,90}$)
- Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$)
- Resistência ao embutimento paralelo às fibras ($f_{e,0}$)
- Resistência ao embutimento normal às fibras ($f_{e,90}$)
- Densidade básica (ρ_{bas})
- Densidade aparente a 12% de umidade (ρ_{12})

UFPR

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROJETOS

92

- Caracterização mínima

- Resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$)
- Resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$)
- Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$)
- Densidade básica (ρ_{bas})
- Densidade aparente a 12% de umidade (ρ_{12})



PROJETOS

93

- Caracterização simplificada

Resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$)

Tabela 1 – Classes de umidade

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

NBR 7190:1997

- ✓ f_{c0} : Resistência à Compressão paralela às fibras
- ✓ f_{v0} : Resistência ao Cisalhamento - tensões tangenciais paralelas às fibras
- ✓ E_{c0} : Módulo de Deformação longitudinal paralela às fibras

Tabela 2 – Classes de resistência das Coníferas

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12 %)				
Classes	f_{c0k}	$f_{v0,k}$	$E_{c0,m}$	$\rho_{aparente}$
	MPa	MPa	MPa	kg/m ³
C20	20	4	3500	500
C25	25	5	8500	550
C30	30	6	14500	600

Tabela 3 – Classes de resistência das folhosas

Folhosas (Valores na condição-padrão de referência U = 12 %)				
Classes	f_{c0k}	$f_{v0,k}$	$E_{c0,m}$	$\rho_{aparente}$
	MPa	MPa	MPa	kg/m ³
D20	20	4	9500	650
D30	30	5	14500	800
D40	40	6	19500	950
D50	50	7	22000	970
D60	60	8	24500	1000

NBR 7190:1997

NBR 7190:1997



Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROJETOS

96

- Coeficientes de modificação $\rightarrow k_{mod} \rightarrow$ afetam os valores de cálculo em função: da classe de carregamento da estrutura ($k_{mod,1}$), da classe de umidade admitida ($k_{mod,2}$), e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade ($k_{mod,3}$)

$$k_{mod} = k_{mod,1} * k_{mod,2} * k_{mod,3}$$

- $k_{mod,3}$ considera se a madeira é de primeira ou segunda categoria:
 - ✓ Segunda categoria $k_{mod,3} = 0,8$
 - ✓ Primeira categoria $k_{mod,3} = 1,0$





Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

PROJETOS

97

$K_{mod,1}$

- Leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado.

$K_{mod,2}$

- Leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado.

$K_{mod,3}$

- Leva em conta se a madeira é de primeira ou de segunda 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

NBR 7190:1997

NBR 7190:1997

- Coeficientes de ponderação da resistência para ELU:
 - ✓ Compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$
 - ✓ Tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$
 - ✓ Cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Tabela 12 - Valores usuais para carregamentos de longa duração

Situções duradouras de projeto para carregamentos de longa duração ($k_{mod,1} = 0,7$) Madeira serrada (segunda categoria: $k_{mod,3} = 0,8$)	
Classes de umidade (1) e (2)	$k_{mod} = 0,7 \times 1,0 \times 0,8 = 0,56$
Classes de umidade (3) e (4)	$k_{mod} = 0,7 \times 0,8 \times 0,8 = 0,45$
$\gamma_{wc} = 1,4$	$f_{wN,k,12} = 0,70 f_{wN,m,12}$
$\gamma_{wt} = 1,8$	$f_{wV,k,12} = 0,54 f_{wV,m,12}$
$\gamma_{wv} = 1,8$	$f_{12} = f_{t0} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$
$f_{10,d} = f_{c0,d}$ $f_{c90,d} = 0,25 f_{c0,d} \cdot \alpha_n$ $f_{t0,d} = f_{c0,d}$ $f_{t90,d} = 0,25 f_{c0,d} \cdot \alpha_o$ Coníferas: $f_{v0,d} = 0,12 f_{c0,d}$ Dicotiledôneas: $f_{v0,d} = 0,10 f_{c0,d}$	

NBR 7190:1997



EMENTA

100

- Introdução: definições, conceitos gerais e histórico
- Madeira e sustentabilidade
- Propriedades
- Tipo de peças de madeira
- Tipos de estruturas de madeira
- Projeto
- Introdução à execução: conceitos gerais





EXECUÇÃO

101

- Execução de estruturas de madeira: madeira bruta, madeira plana e *wood frame* → utilizadas em edificações e coberturas
 - ✓ Madeira bruta ou plana → concepção semelhante a uma estrutura de concreto armado sustentada por pilar e vigas
 - ✓ *Wood frame* → concepção semelhante a alvenaria estrutural - paredes são portantes



EXECUÇÃO

102

- Espécies de madeiras mais usuais:
 - ✓ Estruturas de madeira bruta: Eucalipto
 - ✓ Estruturas de madeira plana: Pinho, Cambará, Itaúba, Tauari, etc.
 - ✓ *Wood frame*: pinus (Curitiba)
- Qualquer elemento estrutural pode ser reparado ou substituído → condição impensável para estruturas de concreto
- Serviço típico de carpintaria com **ligações** realizadas por entalhes pregados, parafusados ou fixados com chapas dentadas



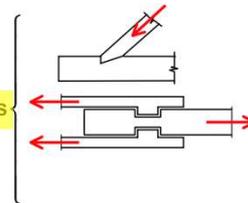
EXECUÇÃO

103

LIGAÇÕES

- Limitação do comprimento das peças de madeira → extração de troncos de árvores → adoção de meios ligantes na emenda das peças estruturais
- União das barras componentes de estruturas reticuladas

a) ligações por penetração entre peças : encaixes



HILGENBERG NETO (2012)

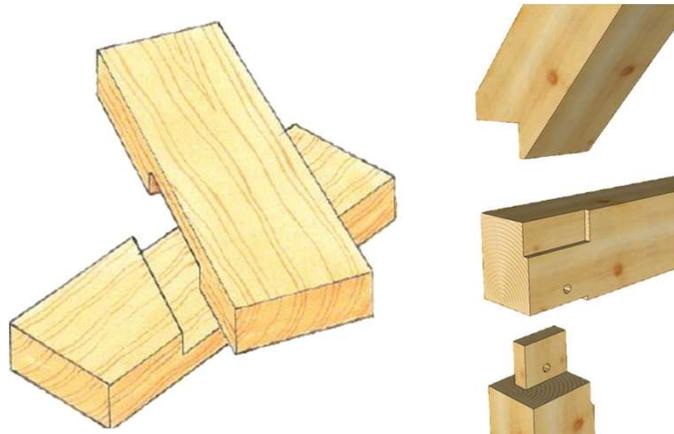
- ✓ Peças sujeitas apenas à compressão → para peças tracionadas, como se fazia no passado, são antieconômicas, e não se usam mais



EXECUÇÃO

104

LIGAÇÕES





Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES

b) ligações com pinos:

de aço	}	pregos						
		parafusos	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 1.5em; vertical-align: middle;">{</td> <td>autoatarrachantes</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>lisos (comporcas)</td> <td></td> </tr> </table>	{	autoatarrachantes			lisos (comporcas)
	{	autoatarrachantes						
		lisos (comporcas)						
}	cavilhas							
	de madeira	cavilhas						

HILGENBERG NETO (2012)

- ✓ Ligações com pinos metálicos ou de madeira são as mais usadas no BR
- ✓ Leva-se em conta a resistência da madeira ao embutimento (esmagamento na área reduzida de contato entre o pino e as peças de madeira)

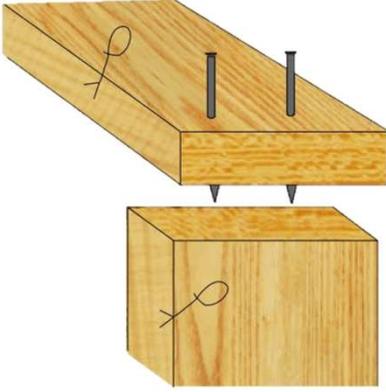


Profa. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES





UFPR

107

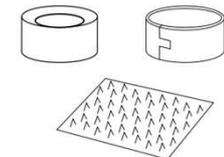
Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES

c) ligações com conectores:

- anéis e discos
- chapas dentadas



HILGENBERG NETO (2012)

✓ Chapa dentada (*gang nail*): cada ligação requer uma análise prévia que considere a força que atua sobre a peça → determina-se a área do conector

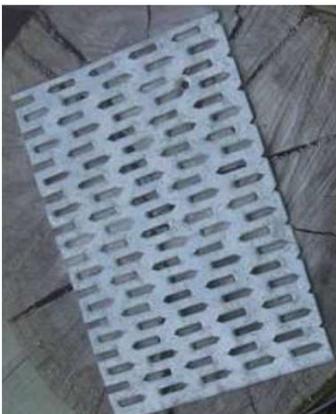
UFPR

108

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES



UFPR

109

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES

d) ligações por adesão :

cola



HILGENBERG NETO (2012)

- ✓ As ligações com cola, que não caracterizam emendas de peças ou junção de barras em nós de estruturas, começam também no Brasil a ganhar maior utilização, com o uso crescente de peças industrializadas, produzidas a partir de laminas coladas entre si

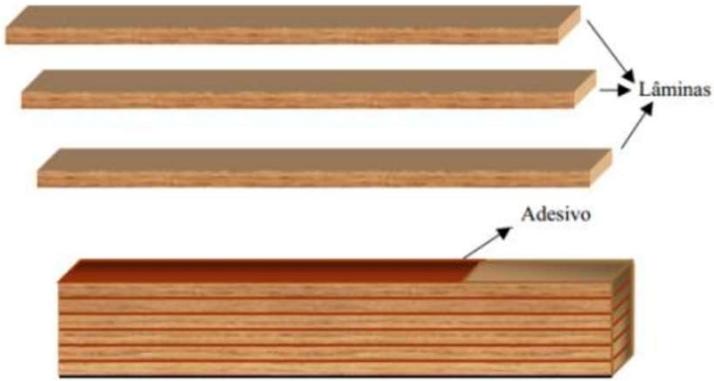
UFPR

110

Prof. Dra. Heloisa Fuganti Campos

EXECUÇÃO

LIGAÇÕES



Lâminas

Adesivo



REFERÊNCIAS

111

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997 (norma em revisão).

www.carpinteria.com.br

FREITAS JR, J. de A. Construção Sustentável e Gestão do Carbono em Obras, palestra proferida, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2017.

HILGENBERG NETO, M. F. Estruturas de madeira da UFPR, apostila didática, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2012.

HONG, T. et al. A review on sustainable construction management strategies for monitoring, diagnosing, and retrofitting the building's dynamic energy performance: Focused on the operation and maintenance phase. *Applied Energy*, v. 155, p. 671–707, Oct. 2015.

INGRAO, C. et al. Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 29–42, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Buildings*, v. Cap. 9, p. 671–738, 2014a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. A review of alternative approaches to the reduction of CO₂ emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete.

