

Organizadoras

**AKEMI INO
LUCIA SHIMBO**

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA



Blucher

Akemi Ino
Lucia Shimbo

Organizadoras

Dedalus-Acervo-IAU



93000007694

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA



Class. 694.2
Cutter. P964
2.2
Tombo 5642
Sysno 3185600

Projetar e construir com madeira
© 2024 Akemi Ino e Lucia Shimbo
Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher
Editores Eduardo Blücher e Jonatas Eliakim
Coordenação editorial Andressa Lira
Produção editorial Alessandra de Proença
Preparação de texto Amanda Fabbro
Diagramação Marcio Freitas
Revisão de texto Helena Miranda
Capa Laércio Flenic
Imagem da capa Tatiana de Oliveira Chiletto

(*) As imagens utilizadas neste livro não caracterizam preferência por marca ou fabricante. Foram utilizadas devido à sua clareza e disponibilidade somente para ilustrar didaticamente os conceitos mencionados.

(**) As imagens de equipamentos da marca Zaccaria estão sendo usadas com o consentimento da empresa aos autores.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 - São Paulo - SP - Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
 contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed.
do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa,
Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Projeto e construir com madeira / Akemi
Ino, Lucia Shimbo organizadoras. - São Paulo:
Blucher, 2024
184 p.; il.

Bibliografia

ISBN 978-85-212-2194-4

1. Construções de madeira 2. Habitações
- Projetos e construção 3. Madeiras de
construção I. Ino, Akemi II. Shimbo, Lucia

23-4339

CDD 694

Índices para catálogo sistemático:
1. Construção de madeira

CAPÍTULO 2

Propriedades físicas e mecânicas da madeira

**Simone Fernandes Tavares
Beatriz Aparecida Corrêa Souza
Tatiana de Oliveira Chiletto
Akemi Ino**

www.schulbeamung.com
Schulbeamung

Wirtschaft
Bildung
Gesellschaft

Neste capítulo, serão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas da madeira, bem como os fatores que afetam sua qualidade enquanto material construtivo, em especial, os processos de corte, secagem e tratamento preservativo. O conhecimento de tais propriedades é fundamental para o emprego correto do material, visando ao seu melhor desempenho.

2.1 Propriedades físicas

A variabilidade, ou variação, nas propriedades é comum a todos os materiais. Todavia, como a madeira é um material natural e a árvore está sujeita a muitas influências em constante mudança (tais como umidade, condições do solo e do clima, local de crescimento), há uma considerável variação de suas propriedades mesmo em espécies já conhecidas e estudadas, bem como nas diferentes partes do seu tronco (KRETSCHMANN, 2010). As características físicas mais importantes da madeira para a construção civil são o conteúdo de umidade, a retratabilidade e a densidade.

2.1.1 Conteúdo de umidade

O teor de umidade influencia as propriedades mecânicas e o desempenho¹ da madeira, afetando a qualidade final dos produtos dela derivados. A norma brasileira para estruturas de madeira NBR 7190-3 (2022) apresenta um roteiro deta-

¹ O desempenho se refere ao comportamento em uso do material. Isso inclui suas diferentes classes de resistência (mecânica, química, ao fogo, ao clima), durabilidade, vida útil etc.

lhado para determinação da umidade de uma amostra de madeira (ABNT, 2022a).

Sendo a madeira um material higroscópico, ela é capaz de absorver e eliminar água e umidade. Ao ser exposta ao meio ambiente, a peça de madeira começa a perder água, iniciando o processo de secagem. No decorrer desse processo, perde-se primeiro a *água livre* (ou *água de capilaridade*), que é a água que se encontra preenchendo as cavidades celulares para, posteriormente, perder a *água de impregnação* (ou *água de constituição*), que é a água contida nas paredes celulares, entre as cadeias de celulose e microfibrilas. Dessa forma, a madeira pode ser classificada de acordo com o seu conteúdo de água, sendo verde ou seca. Ela é considerada verde quando perde apenas a água livre, e seca quando perde também parte da água de impregnação.

Existem dois valores de teor de umidade particularmente importantes:

- Ponto de saturação das fibras (PSF): é o teor de umidade que a madeira possui quando atinge o mínimo de água livre e o máximo de água de impregnação.
- Umidade de equilíbrio ao ar: quando a madeira perde parte da água de impregnação até alcançar um teor de equilíbrio com a umidade relativa do ambiente.

A madeira recém-cortada tem um teor de umidade de cerca de 60% (densidade verde com água livre e água de constituição). O PSF varia de 20 a 30%, sendo adotado o valor de 25% como referência (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003). A partir desse ponto, a madeira perde água de impregnação, sofrendo mudanças dimensionais e em suas propriedades mecânicas (resistência e elasticidade) (DEPLAZES, 2005). A madeira seca é a indicada para o uso na construção civil, a fim de evitar que as mudanças dimensionais drásticas ocorram na peça em uso.

Ainda assim, mesmo quando seca, o teor de umidade da madeira muda dependendo da umidade relativa do ar do ambiente em que se encontra, devido ao seu caráter higroscópico. Se a umidade é absorvida, a madeira incha; se a umidade é liberada, a madeira encolhe. Tal característica torna os ambientes construídos com elementos de madeira mais agradáveis e salubres. Idealmente, a umidade relativa dos ambientes deve ficar entre 40 e 60%, pois é a faixa em que os efeitos adversos à saúde oriundos da umidade do ar são minimizados (ARUNDEL *et al.*, 1986). Quando a umidade é muito alta ou muito baixa, compromete negativamente a qualidade do ar e a percepção de conforto. Com a presença de madeira no ambiente, há a liberação de umidade em dias muito secos; e em dias muito úmidos, ela é capaz de absorver parte do vapor de água equilibrando a umidade relativa do ar, tornando o ambiente mais confortável ao usuário.

2.1.2 Retratibilidade ou contração

A retratibilidade, ou contração, está relacionada às mudanças nas dimensões da peça de madeira ocasionadas pela perda de umidade. Ela ocorre de maneira diferente nas três direções principais correspondentes aos planos tangenciais, radiais e longitudinais (Figura 2.1), acarretando, inclusive, sua retração volumétrica (HELLMEISTER, 1983; DEPLAZES, 2005). A variação é usualmente medida em percentuais e suas taxas indicam maior ou menor estabilidade dimensional do material, servindo como um dos parâmetros para a especificação da melhor espécie a ser empregada em um projeto.

A retração axial ou longitudinal (A) é a menor de todas, ocorre segundo a direção das fibras da madeira, e está na ordem de 0,1%. A retração radial (R) se dá segundo a direção dos raios de uma seção transversal do tronco. Por fim, a retração tangencial (T) é a maior, ocorrendo segundo a direção tangencial aos anéis de crescimento, num plano transversal ao tronco.

A variabilidade acentuada da retração tangencial em relação às demais pode ser explicada por não haver nenhum elemento anatômico nessa direção, diferentemente da direção radial, no qual existem os raios medulares resistindo à retração, e da direção axial, cujos traqueídes, nas coníferas, os vasos e as fibras, nas folhosas, encontram-se posicionados ao longo do eixo do tronco (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003). A Figura 2.2 demonstra visualmente as distorções de retração que ocorrem nas peças de madeira serrada, em uma seção transversal, considerando os anéis de crescimento de um tronco.

Segundo Pereira (2013), a retração pode ser classificada de forma qualitativa em baixa, média e alta, de acordo com a Tabela 2.1.

As retracções tangencial (T) e radial (R) representam as principais mudanças dimensionais da madeira. Associadas, são responsáveis pelas distorções das peças (empenamento, encanoamento, torcimento) e pelo aparecimento de trincas e rachaduras no processo de secagem. Nesse sentido, a relação T/R representa uma medida importante para a comparação das espécies. Quanto menor a relação T/R associada a baixos valores absolutos de T e R , melhor o seu desempenho em relação à estabilidade dimensional (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003). A título de ilustração, a Tabela 2.2 apresenta a variação dimensional de algumas espécies utilizadas no Brasil.

Na Tabela 2.2, o valor da relação T/R é igual para o ipê e para o eucalipto citriodora. Para a escolha da espécie mais estável, é preciso recorrer aos valores isolados de R e T , o que favorece a espécie ipê.

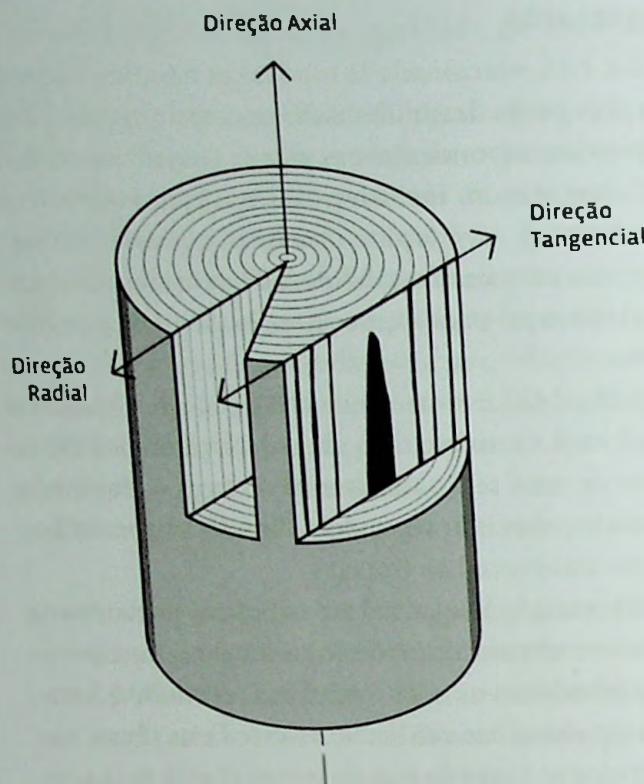


FIGURA 2.1
Três principais direções
da madeira.

Fonte: autores (2022).
Desenho: Inafuku (2022).

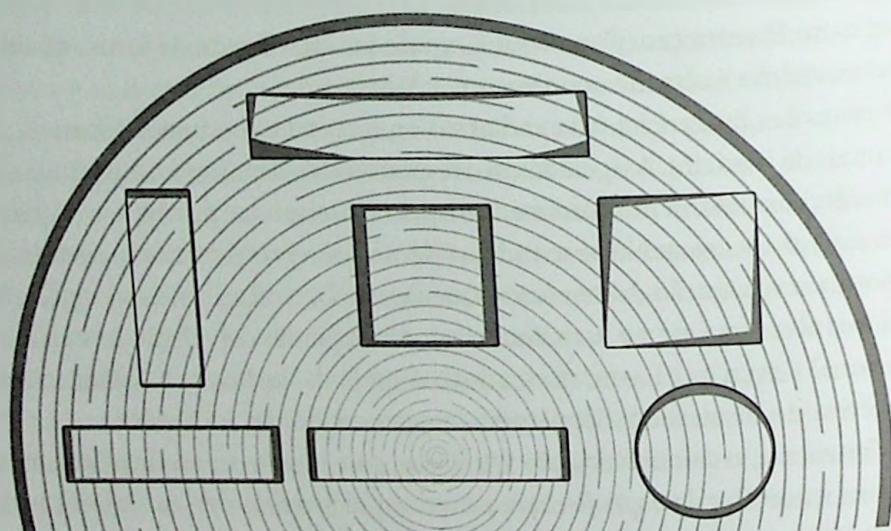


FIGURA 2.2
Deformações das peças de madeira serrada resultante da retração.
Fonte: adaptada de Glass e Zelinka (2010). Desenho: Inafuku (2022).

TABELA 2.1**VALORES QUALITATIVOS QUANTO À RETRATIBILIDADE DA MADEIRA**

	Baixa	Média	Alta
Retração tangencial (T)	< 7,43%	> 7,44% a < 11,93%	> 11,94%
Retração radial (R)	< 3,51%	> 3,52% a < 5,59%	> 5,60%
Retração volumétrica	< 12,32%	> 12,33% a < 19,39%	> 19,40%

Fonte: Pereira (2013) com base em dados obtidos pelo IPT.

TABELA 2.2**VARIAÇÃO DIMENSIONAL DE ALGUMAS ESPÉCIES BRASILEIRAS**

Espécie	R (%)	T (%)	Relação T/R
Angelim pedra	4,3	7,0	1,6
Cedro	4,0	5,3	1,3
Eucalipto citriodora	6,5	9,6	1,5
Ipê	5,1	7,8	1,5
Jatobá	3,6	6,9	1,9
Sucupira	5,9	7,3	1,2

Fonte: adaptada de Calil Jr., Lahr, Dias (2003).

2.1.3 Densidade (massa específica da madeira)

A densidade é a relação entre a massa e o volume da madeira. Em geral, ela varia de 0,1 a 1,2 g/cm³, dependendo da espécie, mas pode oscilar significativamente nas diferentes partes do tronco da árvore em virtude de sua natureza anisotrópica (HELLMEISTER, 1983). Microscopicamente, a densidade da madeira está relacionada à estrutura de seu tecido lenhoso, em especial, à proporção entre o volume do material da parede celular (espessura) e o volume dos vazios (lúmen) das fibras (WIEDENHOEFT, 2010).

Além disso, a densidade também depende do teor de umidade, razão pela qual os valores de densidade devem ser acompanhados do teor de umidade (DEPLAZES, 2005). Nas medições de densidade da madeira, há três valores que podem ser obtidos:

1. Densidade de madeira verde: relação entre peso verde e o volume verde.
2. Densidade básica: relação entre peso seco em estufa e o volume verde. Os valores obtidos se baseiam nas condições mais estáveis da madeira e são empregados essencialmente em estudos científicos, já que não possuem utilidade prática.
3. Densidade aparente: relação entre peso e volume da madeira seca ao ar, geralmente, com um teor de umidade entre 10 e 15% (PEREIRA, 2013).

Quanto mais densa a madeira, maior é a sua dureza, sua elasticidade e sua resistência mecânica, características que influenciam no melhor emprego das diferentes espécies, no tipo de processamento a ser realizado (corte, secagem e proteção) e nas ferramentas a serem utilizadas (CITEMADERA, 2009). Por outro lado, quanto maior a densidade, menor a sua trabalhabilidade e maior a sua variabilidade. Pereira (2013) classifica as madeiras qualitativamente, tendo a densidade como referência, nas categorias explicitadas na Tabela 2.3.

Em comparação com outros materiais de construção, a madeira apresenta uma alta resistência mecânica em relação à sua baixa densidade. Esse aspecto favorece, positivamente, o seu uso como elemento estrutural, facilitando sua manipulação nos processos de pré-fabricação, assim como em todas as etapas de produção, reduzindo o consumo de energia e demandando infraestruturas menos robustas para o seu emprego, em especial aliviando as fundações.

2.2 Propriedades mecânicas

Em virtude da anatomia de seu tecido lenhoso, a madeira apresenta propriedades de resistência distintas em seus eixos longitudinal, radial e tangencial. A dire-

TABELA 2.3
CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA

Madeira leve	Densidade aparente < 550 kg/m ³
Madeira média	Densidade aparente > 550 kg/m ³ a < 750 kg/m ³
Madeira pesada	Densidade aparente > 750 kg/m ³

Fonte: Pereira (2013), com base em dados obtidos pelo IPT.

ção longitudinal (ou axial) coincide com a orientação das fibras (folhosas) ou traqueídes (coníferas), elementos anatômicos responsáveis pela sustentação e pela resistência das árvores. Por isso, a aplicação de esforços em elementos de madeira na direção paralela às fibras e aos traqueídes apresenta uma resistência maior do que esforços aplicados perpendicularmente às fibras (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003).

Por sua vez, as propriedades mecânicas definem o comportamento de um material diante da ação de cargas externas, bem como sua capacidade de resistir e transferir os esforços sem deformar ou fraturar (colapsar). São cinco os principais esforços: compressão, tração, flexão, penetração e cisalhamento.

Em geral, uma peça em uso está sujeita a um conjunto de esforços, como a flexão e o cisalhamento. No entanto, é importante compreender os fenômenos de compressão e tração isoladamente, a fim de entender como a madeira reage a cada um deles.

2.2.1 Compressão

Os esforços de compressão podem ocorrer nas direções normal, paralela ou inclinada às fibras, conforme a Figura 2.3.

Quando a compressão ocorre na direção paralela às fibras, as forças agem de forma paralela ao comprimento das fibras tentando encolhê-las. É como se tentássemos comprimir um conjunto de canudos em seu eixo longitudinal. Ainda que providos de vazios, as paredes dos diferentes canudos atuando em conjunto conferem grande resistência à peça, assim como o fazem as paredes celulares, mais especificamente as fibras (folhosas) e os traqueídes (coníferas).

Como essa resistência está vinculada à espessura das paredes celulares, podemos inferir que as partes do lenho são mais resistentes à compressão do que as

partes do alburno, assim como o conjunto de anéis de crescimento gerados nas estações de outono e inverno.

Quando a compressão acontece nas direções perpendicular ou normal às fibras, a madeira apresenta uma menor resistência, na ordem de $\frac{1}{4}$ do valor apresentado quando submetida à compressão paralela. Diante desse esforço, ocorre a deformação e o esmagamento das fibras em razão da menor resistência das paredes celulares às solicitações perpendiculares. Voltando ao exemplo do canudo, se exercermos compressão em seu sentido transversal, ocorre a deformação de cada unidade e do conjunto como um todo. A madeira também não resiste bem às solicitações inclinadas. Para o cálculo dessa resistência são adotados os valores intermediários entre a compressão paralela e a normal.

2.2.2 Tração

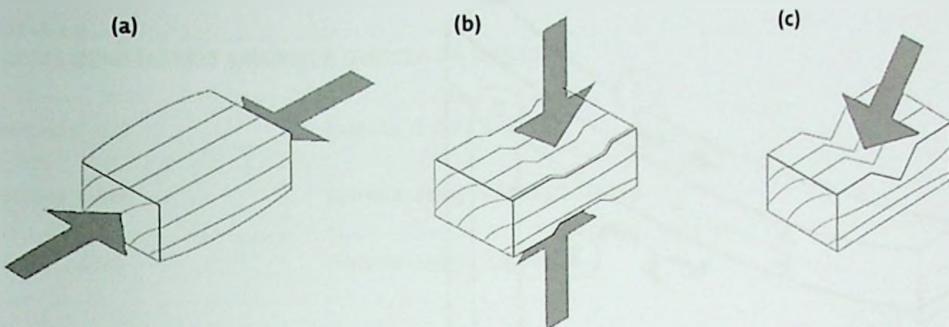
A tração pode ocorrer de forma perpendicular ou paralela às fibras da madeira. Na tração paralela, o que se dá é um esticamento das fibras ao longo do eixo longitudinal da peça, o que ocorre de maneira satisfatória. Diante dessa solicitação, a madeira apresenta baixo valor de deformação e alta resistência. Já na tração perpendicular, os esforços atuam em direção perpendicular às fibras, tentando separá-las. Como a madeira possui menor resistência para solicitações realizadas nessa direção, o seu uso nessas condições deve ser evitado (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003).

2.2.3 Cisalhamento

O cisalhamento nada mais é do que a separação das fibras por meio do deslizamento paralelo entre elas. Quando a tensão é aplicada em um plano perpendicular às fibras, a madeira apresenta uma alta resistência ao cisalhamento. Caso o plano de cisalhamento for paralelo às fibras, podem ocorrer duas situações: 1) se a direção da aplicação da força coincide com a direção das fibras, ocorre cisalhamento horizontal (Figura 2.5b); 2) se a direção das tensões é perpendicular à direção das fibras (Figura 2.5c), há a tendência desses elementos rolarem uns sobre os outros – fenômeno conhecido como *cisalhamento rolling* (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003).

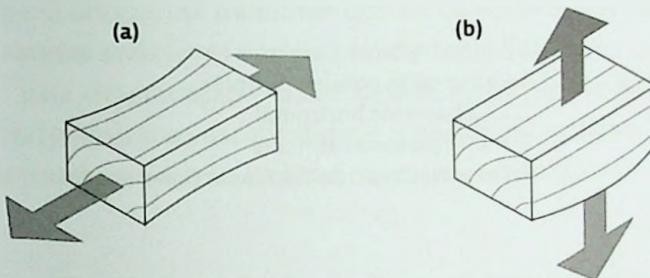
2.2.4 Flexão simples

Na flexão simples, a madeira é submetida a quatro tipo de tensões: compressão paralela às fibras, cisalhamento horizontal, tração paralela às fibras e compressão perpendicular às fibras nas regiões de apoio (Figura 2.6).

**FIGURA 2.3**

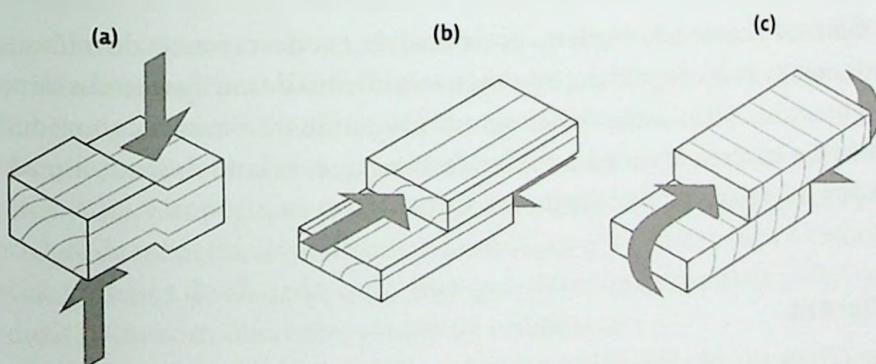
Esforços de compressão: (a) paralela às fibras; (b) normal às fibras;
(c) inclinada às fibras.

Fonte: adaptada de Calil Jr., Lahr, Dias (2003). Desenho: Inafuku (2022).

**FIGURA 2.4**

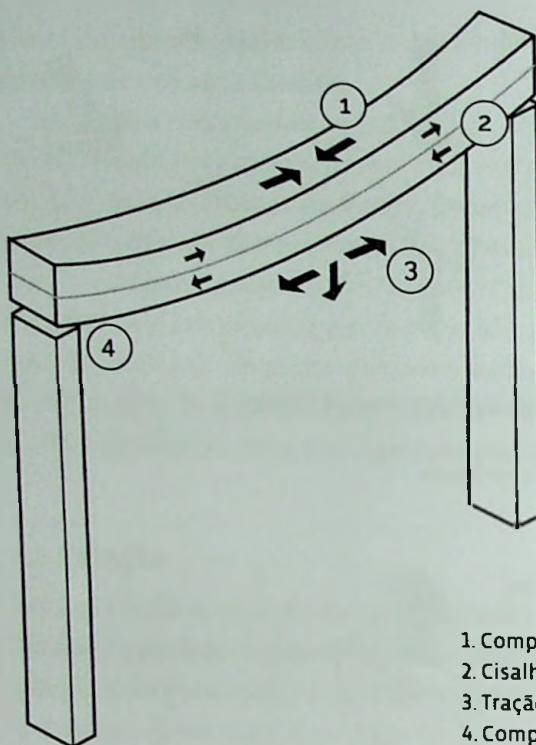
Esforços de tração: (a) paralela às fibras; (b) perpendicular às fibras.

Fonte: adaptada de Calil Jr., Lahr, Dias (2003). Desenho: Inafuku (2022).

**FIGURA 2.5**

Tensões aplicadas: (a) no plano perpendicular às fibras; (b) no plano paralelo às fibras e no sentido das fibras; (c) no plano paralelo às fibras e no sentido perpendicular à direção das fibras.

Fonte: adaptada de Calil Jr., Lahr, Dias (2003). Desenho: Inafuku (2022).



1. Compressão paralela às fibras
2. Cisalhamento horizontal
3. Tração paralelas às fibras
4. Compressão perpendicular às fibras no apoio

FIGURA 2.6

Flexão simples.

Fonte: adaptada de Calil Jr., Lahr, Dias (2003). Desenho: Inafuku (2022)

Na flexão, a ruptura da madeira pode ocorrer em decorrência de minúsculas falhas de compressão, seguidas pelo desenvolvimento de enrugamentos de compressão macroscópica. Essas falhas geram um aumento da área comprimida e uma redução na área tracionada, fazendo com que, eventualmente, a madeira rompa por tração (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003).

2.2.5 Dureza

A dureza é a propriedade mecânica relacionada à resistência do material, à penetração, ao risco ou à deformação permanente quando pressionado por outros materiais. Na madeira, essa propriedade é classificada como *dureza janka* e é determinada por normas internacionais. A dureza janka pode ser classificada em macia, média e dura, assim como mostrado na Tabela 2.4.

TABELA 2.4
VALORES QUALITATIVOS QUANTO À DUREZA DA MADEIRA

Madeira macia	Dureza janka ≤ 392 kfg
Madeira média	Dureza janka ≤ 392 kfg à 730 kfg
Madeira dura	Dureza janka > 730 kfg

Fonte: Pereira (2013) com base em dados obtidos pelo IPT.

Segundo Pereira (2013), a madeira é tanto mais dura quanto mais camadas de crescimento ela possui, existindo, assim, uma relação entre a densidade da madeira e a sua dureza. As madeiras que são mais pesadas normalmente são mais duras e aquelas mais leves acabam sendo mais macias.

Essa classificação ajuda a definir a resistência da madeira ao tráfego de pessoas (pisos), sua suscetibilidade a riscos e arranhões, assim como o tipo de prego ou parafuso a serem utilizados em seu emprego.

2.2.6 Classe de resistência da madeira e seus valores

As propriedades de resistência e rigidez da madeira são categorizadas como classes de resistência, cujo objetivo é orientar a escolha do material para a elaboração de projetos estruturais. Trata-se de uma conformação a ser garantida pelos fornecedores do material em ensaios padronizados e em consonância com a Norma Técnica NBR 9170: 2022. A Tabela 2.5 apresenta a classe de resistência e as propriedades mecânicas das folhosas definidas em ensaios de peças estruturais e a Tabela 2.6, as mesmas informações sobre as coníferas.

Considerando estes dados, é possível indicar os tipos de madeira e seus melhores usos. Aqui, é importante ressaltar que as propriedades são definidas de acordo com o lote da madeira, levando em consideração peças sem defeitos visuais (nós, trincas, presença de alburno etc.). Isso quer dizer que uma mesma árvore pode produzir peças com diferentes classes de resistência.

Algumas madeiras, amplamente utilizadas no Brasil, possuem suas características físicas e mecânicas determinadas, como podemos ver na Tabela 2.7. As informações organizadas servem de referência para a elaboração de projetos estruturais.

TABELA 2.5

CLASSE DE RESISTÊNCIA (MPA) DAS ESPÉCIES DICOTILEDÔNEAS E SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, U=12%, SEMPRE NA DIREÇÃO LONGITUDINAL ÀS FIBRAS

Classe	Flexão	Tração paralela	Tração perpendicular	Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento
D18	18	11	0,6	18	7,5	3,4
D24	24	14	0,6	21	7,8	4,0
D30	30	18	0,6	23	8,0	4,0
D35	35	21	0,6	24	8,1	4,0
D40	40	24	0,6	26	8,3	4,0
D50	50	30	0,6	29	9,3	4,0
D60	60	36	0,6	32	11	4,5
D70	70	42	0,6	34	13,5	5,0

Fonte: ABNT, 2022a, p. 12.

TABELA 2.6

CLASSE DE RESISTÊNCIA (MPA) DAS ESPÉCIES CONÍFERAS E SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, U=12%, SEMPRE NA DIREÇÃO LONGITUDINAL ÀS FIBRAS

Classe	Flexão	Tração paralela	Tração perpendicular	Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento
C14	14	8,0	0,4	16	2,0	3,0
C16	16	10	0,4	17	2,2	3,2
C18	18	11	0,4	18	2,2	3,4
C20	20	12	0,4	19	2,3	3,6
C22	22	13	0,4	20	2,4	3,8
C24	24	14	0,4	21	2,5	4,0
C27	27	16	0,4	22	2,6	4,0
C30	30	18	0,4	23	2,7	4,0
C35	35	21	0,4	25	2,8	4,0
C40	40	24	0,4	26	2,9	4,0
C45	45	27	0,4	27	3,1	4,0
C50	50	30	0,4	29	3,2	4,0

Fonte: ABNT, 2022a, p. 12.

TABELA 2.7
ESPÉCIES DE MADEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL E SUAS
PRINCIPAIS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Espécie	Densida-de (kg/m³)	Retratibilidade (%)		Compre-são (kgf/cm²)	Flexão (kgf/cm²)	Elastici-dade (kgf/cm²)
		Contração radial (%)	Contração tangencial (%)			
Angelim pedra <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	710	4,1%	6,3%	387,5	719	95.996
Angico preto <i>Anadenanthera macrocarpa</i> Brenan	1.050	4,9%	8,1%	712,78	1.566	166.805
Cedro <i>Cedrela spp</i>	530	4,0%	6,2%	285,5	640	85.000
Cumaru <i>Dipteryx odorata</i> (Aublet.) Willd	1.090	5,3%	8,2%	604,69	1.262	189.726
Cupiúba <i>Gouania glabra</i> Aubl	870	4,8%	9,1%	518	986	139.599
Curupixá <i>Micropolis venulosa</i> Pierre	790	4,7%	9,7%	413	803	130.003
Eucalipto citriodora <i>Eucalyptus citriodora</i> Hook	1.040	6,6%	9,5%	521	1.211	134.000
Eucalipto grandis <i>Eucalyptus grandis</i> W.	500	5,3%	8,7%	268	549	98.800
Freijó <i>Cordia goeldiana</i> Huber	590	3,2%	6,7%	373	814,75	113.198
Ipê <i>Tabebuia spp</i>	1.010	4,0%	5,9%	748	748,5	155.996
Itaúba <i>Mezilaurus itauba</i> taus	960	2,3%	6,7%	588	1.176,75	147.899
Maçaranduba <i>Manilkara spp</i>	1.000	6,8%	11,0%	610	1.193	150.600

Espécie	Densida-de (kg/m ³)	Retratbilidade (%)		Compre-são (kgf/cm ²)	Flexão (kgf/cm ²)	Elastici-dade (kgf/cm ²)
Jatobá <i>Hymenaea spp</i>	960	3,1%	7,2%	683	1.342	151.300
Peroba rosa <i>Aspidosperma polyneuron Müll</i>	790	4,0%	7,8%	424	899	94.303
Pinho-do-Paraná <i>Araucaria angustifolia</i>	550	4,0%	7,8%	268	609	109.303
Pinus Elliottii <i>Pinus elliottii</i>	480	3,4%	6,3%	188	489	65.904

Fonte: IPT, em rede*.

* Os dados sobre as características físicas e mecânicas das madeiras listadas estão disponíveis no site do IPT, no seguinte endereço: https://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca.

2.3 Resistência ao fogo

A madeira é um combustível sólido, composto por cerca de 85% de materiais voláteis, os quais são liberados durante o processo de pirólise (PINTO, 2001). A despeito dessa característica, apresenta um desempenho bastante favorável como estrutura principal quando submetida a altas temperaturas. Tal afirmação se deve ao comportamento próprio da madeira nessa condição: possui baixa condutividade térmica, o que torna o seu processo de combustão mais lento; necessita de maiores temperaturas para que inicie o processo de carbonização completo (400°C a 500°C); é capaz de formar uma camada superficial carbonizada que atua como barreira de isolamento térmico, impedindo o avanço do fogo e mantendo sã a peça. Assim, percebe-se um núcleo intacto envolto em uma camada carbonizada.

De acordo com Pinto (2001), peças de madeira maciça e MLC mantêm sua integridade estrutural por longos períodos de exposição ao fogo, assegurando as suas funções. Isso é resultado da espessura das peças. Por isso, diz-se que a madeira é o único material que pode ser dimensionado para resistir ao incêndio, diferente de outros materiais como o aço e o concreto, os quais, para serem resistentes, necessitam de materiais adicionais, como pinturas e camadas de isolamento.

Diante dessas características, projetos em madeira devem prezar por duas principais condições, uma relacionada à seção das peças e outra ao projeto. Entre estes cuidados, de acordo com Ino (2009), podemos citar:

QUADRO 2.1**COMPARATIVO DE COMPORTAMENTO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO METAL E DA MADEIRA**

Temperatura	Metal	Madeira
260°C	Começa a deformar, diminuindo a sua capacidade resistentes.	Começa o risco de pegar fogo, mantendo a resistência mecânica intacta.
420°C-450°C	Perde totalmente a sua capacidade resistente e a estrutura entra em ruína.	Início da combustão.

Fonte: Ino (2009).

- Ter as suas peças principais dimensionadas com o propósito de garantir o tempo de fuga dos ocupantes (30 minutos), considerando a velocidade de combustão (0,63mm/minuto). Se possível, dimensionar para que a estrutura permaneça intacta sem entrar em colapso.
- Prezar pelos detalhes construtivos, tendo cuidado especial com as conexões utilizadas. Em geral, partes onde existem conexões metálicas representam um ponto de fragilidade ao fogo em estruturas de madeira.
- Implantar as unidades construídas em madeira com recuo suficiente para evitar transferência de chamas via aberturas entre as unidades.
- Conscientizar os usuários quanto ao uso das casas de madeira.

2.4 Fatores que influenciam as propriedades da madeira

Calil Jr., Lahr e Dias (2003) classificam em três os principais fatores que podem afetar as propriedades da madeira: anatômicos, ambientais e de utilização. A fim de facilitar as informações deste livro, dividiremos o conteúdo em duas partes principais: a) os fatores anatômicos e b) os fatores de processamento.

2.4.1 Fatores anatômicos

São fatores relacionados às propriedades intrínsecas da madeira, resultado de seu processo natural de formação, em geral, pouco influenciada pela ação humana. Entretanto, esses fatores interferem na qualidade da madeira e no desempenho final das edificações nas quais são aplicadas. Os principais fatores a serem observados são: densidade, inclinação das fibras, presença de nós, presença de medulas, faixas de parênquimas e falhas naturais.

a) Densidade

Como vimos, a densidade é um valor de referência para a determinação da resistência da madeira, pois indica o quanto de matéria resistente existe em cada espécie. Por isso, é fundamental que ela seja medida/calculada/obtida da maneira correta. Entre os cuidados, Calil Jr., Lahr e Dias (2003) destacam:

- Teor de umidade em 12%: a umidade interfere na obtenção da densidade da madeira. Quanto mais úmida, mais pesada e menor é a sua resistência mecânica. Por isso, é fundamental que a densidade seja determinada pelo teor de umidade padrão.
- Verificar a presença de nós, resinas e extratos: em geral, aumentam a densidade sem contribuir para a resistência. Nós, inclusive, são considerados pontos de fragilidade.

b) Inclinação das fibras (folhosas) ou traqueídes (coníferas)

A inclinação das fibras ou traqueídes, a depender da classe da madeira, interfere em sua resistência. Por isso, deve ser observado qual é o seu desvio em relação a uma linha paralela à borda da peça. De acordo com Calil Jr., Lahr e Dias (2003), com base na norma NBR 7190 (2022a), é permitido um desvio no ângulo de seis graus, sendo necessário verificar a variação nas propriedades da madeira para valores mais elevados a partir de cálculos.

c) Presença de nós

Os nós aparecem em pontos de surgimento de galhos na madeira. Eles reduzem a resistência da madeira pois promovem uma descontinuidade na direção de fibras ou traqueídes. A NBR 7190-2 (ABNT, 2022b) apresenta diferentes tipos de nós, que, em alguns casos, podem até ocasionar descolamento, deixando aberturas que afetam os vários desempenhos da madeira, além de prejudicar a sua resistência e o seu aspecto.

d) Falhas naturais da madeira

O encurvamento do tronco da árvore é um exemplo de falha natural e ocorre em algumas condições de localização da árvore, como em encostas e morros, ou quando muito sujeita à ação de ventos. A madeira proveniente de árvores que resistem a esforços como esses, em geral, possui suas fibras ou traqueídes desalinhados. Existe uma área de conhecimento especializada no plantio e no manejo de árvores para a construção civil a fim de evitar falhas como essa.

Outro problema seria a quase indistinção entre as camadas de alburno e o cerne dos troncos. Como vimos, o alburno é menos resistente e mais suscetível a ataques de xilófagos, o que prejudica a qualidade da madeira, principalmente aquela empregada com função estrutural.

e) *Presença de medula*

A medula representa um ponto de fragilidade da madeira, seja em relação à resistência mecânica, seja em relação à resistência ao ataque biológico. Corresponde aos primeiros anos de crescimento da árvore, também chamada de madeira juvenil.

f) *Faixas de parênquima*

Parênquimas são células retangulares curtas e de paredes finas, presentes em maior abundância nas angiospermas, escassas e dispersas nas gimnospermas. Sua função é armazenar substâncias nutritivas a serem utilizadas pela árvore (PEREIRA, 2013). Possuem baixa densidade e pouca resistência mecânica, o que torna as peças de madeira nas quais estão presentes pouco resistentes a esforços de compressão (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003).

2.4.2 Fatores de processamento

Os fatores de processamento aqui considerados se referem às etapas de desdobra, secagem, tratamento e armazenagem da madeira.

2.4.2.1 Desdobra da tora

De acordo com Gava (2005), o desdobra consiste na subdivisão da tora da árvore em seu sentido longitudinal, seguindo um plano de corte estabelecido *a priori*, em geral, considerando qual será o seu melhor aproveitamento (rendimento da tora), o que é condicionado pelo seu diâmetro mas, principalmente, qual será a função ou finalidade que o produto do corte irá desempenhar. Esse processo resulta em peças em forma de pranchas, tábuas, vigas, vigotas, caibros, sarrafos e ripas.

Para se produzir peças de qualidade estrutural, por exemplo, vigas, pilares e vigotas, o ideal seria obter as peças por corte radial, já que o desdobra permite a obtenção de peças mais estáveis, menos sujeitas ao processo de retração por perda de umidade, conforme discutido no item 2.1.2. O tipo de corte mais utilizado, no entanto, é o paralelo, realizado em função da facilidade do processo e da sua produtividade. Por fim, é importante atentar, na Figura 2.7, que todos os cortes evitam a medula, parte mais frágil da tora.

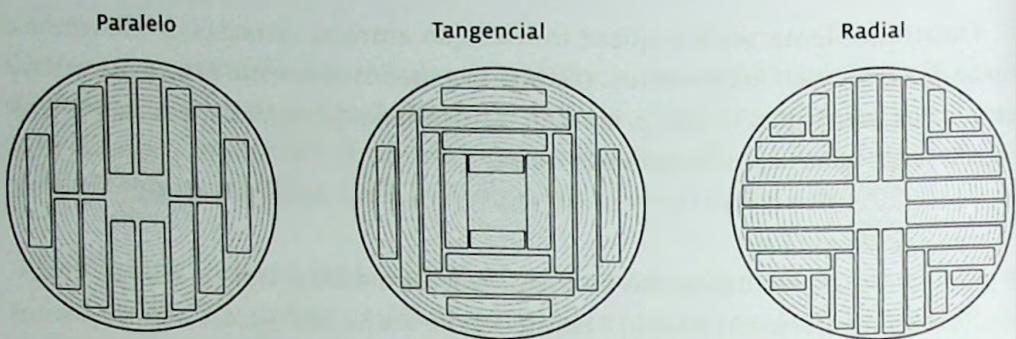


FIGURA 2.7 Tipos de cortes.

Fonte: adaptada de Franco (2019). Desenho: Inafuku (2022).

Calil Jr., Lahr e Dias (2003) também atentam para outros cuidados a serem despendidos durante o processo de corte, como a quebra das arestas ou a variação dimensional na seção (desbitolamento), aspectos que atrapalham o desempenho da madeira.

2.4.2.2 Processo de secagem

Para o melhor uso da madeira na construção é importante que esta se encontre seca, uma vez que um alto teor de umidade reduz sua resistência e interfere na precisão dimensional e na estabilidade de sua forma (ABNT, 2022a). A madeira com alto teor de umidade também está suscetível a ataques de xilófagos. Assim, a realização do processo de secagem é fundamental, permitindo outros ganhos, como: redução do peso e potencialização do transporte; aumento do seu desempenho para a realização de acabamento superficial de tintas, vernizes e produtos ignífugos e melhor eficácia dos tratamentos preservativos (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003, p. 23).

A secagem não é um processo simples e as peças podem sofrer distorções ou fendilhamentos conforme perdem água, comprometendo a qualidade do produto, tanto visual quanto estruturalmente. Por isso, deve ser realizada no tempo ideal e por meio de procedimentos adequados a depender da espécie da madeira, já que cada uma delas apresenta um comportamento diferente devido às particularidades de sua anatomia. Uma vez que a secagem é bem-sucedida, as peças mantêm sua estabilidade e seu bom desempenho tanto nas etapas de transformação quanto nas de manufatura e de uso (CITEMADERA, 2009).

A secagem pode ser realizada de duas maneiras: natural ou por meio de estufa. A secagem natural é realizada ao ar livre pela exposição da madeira à ação dos

diferentes fatores climáticos (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar). Para uma maior eficiência desse processo, as seguintes condições devem ser levadas em consideração:

- Um pátio de secagem devidamente ventilado e protegido.
- O uso de separadores adequados (tabiques).
- O empilhamento correto das peças (tabicamento).

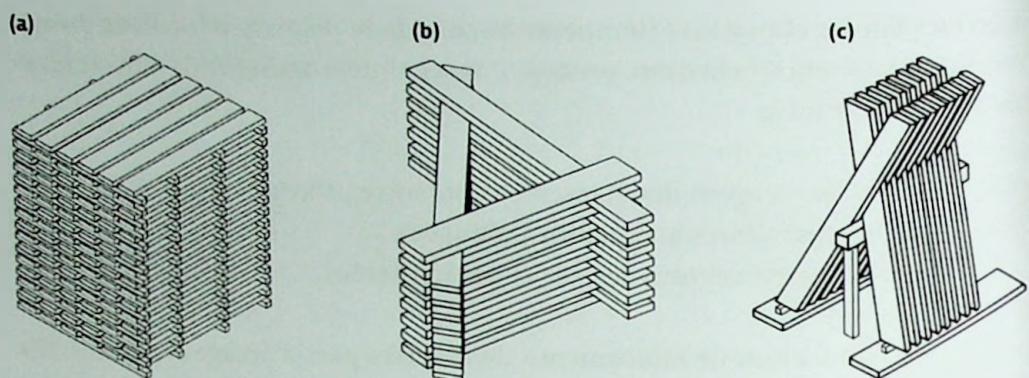
Existem três formas de tabicamento da madeira para a secagem natural. No empilhamento horizontal, as peças são organizadas em pilhas planas, distantes do solo, e colocadas lado a lado, com cada camada separada verticalmente por ripas ou separadores (tabicas), evitando o contato entre elas, permitindo a ventilação cruzada. Esse processo também é chamado de tabicamento (HELLMEISTER, 1983). O empilhamento triangular consiste na formação de pilhas por meio de encaixe das extremidades das peças. Não são utilizados espaçadores nesse tipo de empilhamento. A secagem utilizando o método X, ou justaposição dos cavaletes, consiste na colocação das tábuas inclinadas apoiadas em uma viga transversal, ou num suporte. Na extremidade inferior, as peças são acomodadas sobre uma guia, evitando o contato da madeira com o chão (CITEMADERA, 2009). Os métodos de secagem estão ilustrados nas Figuras 2.8 a, b e c.

Cada um dos processos possui vantagens e desvantagens, que são delineadas no Quadro 2.2.

A secagem em estufa, ou secagem artificial, é realizada em fornos providos de controladores, em especial de temperatura e de umidade. O tempo e a temperatura de exposição são definidos em consonância com a espécie da madeira, o que permite o controle e a redução de suas deformações. O processo de secagem utilizando um método artificial garante:

- Redução no tempo de secagem da madeira, uma vez que os processos naturais podem demorar de 6 meses a um ano.
- Um teor homogêneo de umidade nas diferentes placas e peças.
- Peças com um teor de umidade específico, menor que a umidade relativa do ar, e uniforme em todas as suas partes.

A principal desvantagem no uso de secagem por estufa consiste no alto consumo de energia, o que se reflete no custo do produto e no aumento de sua contribuição nas emissões de gases de efeito estufa (emissões relacionadas à energia embutida).

**FIGURA 2.8**

(a) tabicamento horizontal; (b) tabicamento triangular; (c) tabicamento em cavalete.

Fonte: adaptada de CITEMADERA (2009). Desenhos: Inafuku (2022).

QUADRO 2.2**VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS EMPILHAMENTOS**

Tipo de empilhamento	Vantagens	Desvantagens
Horizontal/ Tabicamento	Melhora qualidade de secagem; maior volume de madeira a ser empilhada.	Ocupa maior espaço; requer maior tempo de secagem.
Triangular	Secagem mais rápida.	Os pontos de encontro entre as madeiras podem ficar molhados/úmidos; aumento da possibilidade de defeitos como empenamento e fendas; aumento do risco de ataque de xilófagos nas áreas de contato.
X ou cavalete	Requer menos espaço; secagem mais rápida, pois as peças estão quase completamente expostas às ações do ambiente.	A madeira tende a empenar por ter apoio somente nas extremidades, aumentando o risco de deformação; desequilíbrio de secagem na peça, a parte inferior seca mais lentamente.

Fonte: CITEMADERA, 2009, p. 35.

A falta de cuidado nos processos de secagem, natural ou artificial, pode ocasionar defeitos nas peças, algumas vezes tornando o seu uso inviável. Os defeitos podem ser classificados como empenamentos, torcimentos, rachaduras e colapso (PEREIRA, 2013). São consideradas peças em colapso aquelas que apresentam ondulações. As rachaduras são fendas ou separações dos elementos constituintes da madeira, ocasionadas principalmente por retração. Elas podem aparecer nos extremos ou topos das peças, ser superficiais ou internas, reduzindo a resistência ao círsalhamento das peças onde se encontram presentes. Os empenamentos e torcimentos, por sua vez, referem-se às distorções que ocorrem nos planos da peça de madeira, ocasionadas, em geral, por contração diferenciada dos diferentes planos anisotrópicos da madeira. Podem ser, de acordo com Marques e Martins (2002):

- **Encanoamento:** empenamento transversal da face, sendo representada pela curvatura da largura de uma peça.
- **Encurvamento:** empenamento longitudinal da face, sendo representada pela curvatura ao longo do comprimento da peça.
- **Arqueamento:** curvatura ao longo do comprimento de uma peça em um plano paralelo à face, de modo que o eixo longitudinal forma um ângulo com a direção de seu comprimento.
- **Torcimento:** empenamento helicoidal ou espiral no sentido do eixo da peça de madeira.
- **Forma diamante:** ocorrência em peças de seção quadrada, quando a contração tangencial é maior que a radial.

Os empenamentos são influenciados, ainda, pelo processo de desdobro das toras e pela forma de armazenagem da madeira. Os diferentes defeitos estão representados na Figura 2.9.

2.4.2.3 Agentes degradadores e tratamento preservativo

Como todo material natural, a madeira está sujeita à deterioração. Seus principais agentes degradadores, de acordo com Gonzaga (2006), são os biológicos e os não biológicos (combustão, intemperismo). Entre os agentes biológicos, também chamados de agentes bióticos de deterioração, destacam-se os xilófagos, aqueles que utilizam a madeira como fonte de alimentação, podendo ser bactérias, fungos, insetos ou perfuradores marinhos. Vale a pena reforçar que esses diferentes organismos sobrevivem e se multiplicam apenas mediante condições ambientais adequadas, incluindo parâmetros favoráveis de umidade, tempera-



FIGURA 2.9

Distorções da madeira ocasionadas em processo de secagem.

Fonte: adaptada de Marques e Martins (2002). Desenhos: Inafuku (2022).

TABELA 2.8
CONDIÇÕES IDEIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

	Mínima	Média	Máxima
Temperatura (°C)	3	24-36	45
Umidade relativa do ar	> 85%		
Conteúdo de umidade da madeira	25%	80%	200%
Alimento	celulose, lignina, amido		
Oxigênio	ar		

Fonte: Ino (1997).

tura, oxigênio e fonte de alimento. Se tais condições são controladas ou removidas, a madeira é preservada (ver tabela 2.8).

As bactérias, seres unicelulares, podem colonizar a madeira, geralmente em ambientes de umidade elevada, provocando o aumento de sua permeabilidade e o amolecimento de sua superfície, ou seja, alterando as suas propriedades. De acordo com Brito (2014), a ação bacteriana, apesar de lenta, pode ser potencializada por sua associação a fungos, agindo na deterioração de madeiras tratadas e sem tratamento.

Já os fungos, organismos agrupados no reino Fungi, apresentam uma grande variação de formas e tamanhos, podendo ser unicelulares ou pluricelulares. São organismos heterótrofos, dependentes da ingestão de matéria orgânica de outras espécies, vivas ou mortas, para a sua sobrevivência. O corpo das espécies pluricelulares é dividido em duas partes: o micélio e o corpo de frutificação. O micélio é formado por hifas, uma rede de filamentos longos e microscópicos. O corpo de frutificação corresponde à estrutura reprodutiva do fungo, o qual se manifesta quando o micélio se estabiliza e encontra condições adequadas para a sua reprodução, principalmente de umidade.

Ao ter contato com a madeira em condições ambientais favoráveis, os fungos formam uma rede de hifas que penetram em suas cavidades ou paredes celulares para a realização de sua alimentação, causando a degradação da estrutura da madeira. De acordo com Brito (2014), a presença do corpo de frutificação, externo a uma peça, pode ser um indicativo de alto nível de biodeterioração, a depender do tipo de fungo.

Os fungos xilófagos podem ser classificados em:

- **Fungos emboloradores:** provocam alterações na superfície da madeira (bolor). Em geral, sua ação é superficial e a madeira pode ser recuperada mediante lixamento.
- **Fungos manchadores:** penetram mais profundamente na madeira causando manchas ou descoloramento permanentes, responsáveis por vários prejuízos estéticos e de inviabilidade de uso da madeira.

Esses dois fungos colonizam a madeira com teor de umidade alto (acima de 30%) e continuam a se proliferar caso a umidade se mantenha elevada. Não atacam a parede celular da madeira, por isso, alteram pouco suas propriedades mecânicas, exceto quando esses ataques são considerados muito intensos, especialmente os fungos manchadores. Como modificam a aparência da madeira, são bons indicativos de excesso de umidade e, portanto, alertam para a necessidade de cuidados de manutenção para evitar os ataques de fungos mais agressivos (BRITO, 2014).

- **Fungos apodecedores:** são responsáveis por alterações mecânicas e físicas da madeira. Podem provocar: a *podridão branca*, que degrada os componentes químicos estruturais da madeira; a *podridão parda*, que faz com que a madeira apresente fissuras perpendiculares e paralelas às fibras; e a *podridão mole*, na qual a peça atacada, quando úmida, apresenta superfície amolecida e, quando seca, apresenta superfície escura e pequenas fissuras perpendiculares e paralelas às fibras (PEREIRA, 2013).

Os fungos apodecedores causam a destruição das paredes celulares, por isso sua maior influência nas propriedades mecânicas da madeira. São os mais comuns em climas tropicais.

Em relação aos insetos, existem pelo menos seis classes que atacam a madeira, de um total de 26 (BRITO, 2014). Eles podem ser xilófagos, aqueles que se utilizam da madeira como alimento, ou não. Os insetos não xilófagos usam a madeira como abrigo e ninho, escavando túneis paralelos às fibras, causando diminuição de sua resistência. Entre estes últimos pode-se citar a formiga carpinteira e a abelha carpinteira, sendo que as formigas são mais atuantes e causam maiores problemas, principalmente por associarem-se aos fungos.

Especial atenção, no entanto, é dada aos insetos xilófagos, aqueles que se alimentam da madeira, como os cupins (ou térmitas) e as brocas (besouros), cujo ataque

resulta em túneis ou cavidades da peça e a presença de pó de madeira ou excrementos próximos aos orifícios. Sua ação provoca a perda de capacidade resistente da madeira, que pode levar diferentes elementos construtivos ao colapso.

Os cupins são insetos sociais que formam colônias. Estão presentes em regiões nas quais a temperatura média anual é superior a 10°C, prescindem de alto teor de umidade na madeira e alto nível de CO₂ e O₂ para a sua sobrevivência, alimentando-se da celulose (BRITO, 2014). Entre as famílias de cupins, aquelas que mais atacam a madeira, de acordo com Pereira (2013) e Brito (2014), são:

- **Cupins de madeira seca e cupins de madeira úmida:** constroem suas colônias dentro da madeira. Os cupins de madeira úmida são comuns em madeira saturada, não tratada, recém-desbastada ou instalada em contato com o solo. Os cupins de madeira seca, por sua vez, são mais resistentes e mais difíceis de serem prevenidos.
- **Cupins de solo (ou subterrâneos):** usam o próprio solo para desenvolver suas colônias, mas escavam túneis para chegar à madeira. Quando atacam a madeira são de difícil detecção, pois não deixam orifícios de saída, o qual se encontra no solo.
- **Cupins arborícolas:** constroem sua colônia acima do solo, geralmente em árvores, mas podem ser encontrados em telhados e forros.

Já as brocas de madeira, comumente conhecidas como caruncho, são besouros que se instalam em árvores vivas ou recém-cortadas, além da madeira seca, para o seu desenvolvimento e alimentação. Seu ciclo de vida tem início com o depósito do ovo, na madeira, pela fêmea. Quando os ovos eclodem, as larvas iniciam a escavação da madeira para a realização de sua alimentação, deixando o buraco apenas em um novo período de acasalamento quando já são, então, um besouro adulto. Tratamentos preservativos e selantes da superfície da madeira ajudam a prevenir o ataque de brocas. Assim como os cupins, a perda de resistência da madeira se dá por perda de sua seção resistente.

Por fim, os perfuradores marinhos, ou brocas marinhas, são responsáveis pela deterioração de madeiras utilizadas em ambientes salinos. Em geral, são moluscos ou crustáceos que perfuram a madeira, escavando túneis utilizados como abrigo. Afetam, por isso, a capacidade resistente da madeira, muitas vezes reduzindo visualmente a sua seção.

A norma NBR 7190 (ABNT, 2022a) faz uma importante relação entre os tipos de uso da madeira e os possíveis agentes biodeterioradores (Quadro 2.3), infor-

QUADRO 2.3
CATEGORIA DE USO DA MADEIRA E AGENTES BIODETERIORADORES

Categoría de uso	Condição de uso da madeira	Organismos xilófagos
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegido das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins subterrâneos ou arborícolas.	Cupim-de-madeira-seca; broca-de-madeira.
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegido das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupim-de-madeira-seca; broca-de-madeira; cupim-subterrâneo; cupim-arborícola.
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e protegido das intempéries, que pode, ocasionalmente, ser exposto a fontes de umidade.	Cupim-de-madeira-seca, broca-de-madeira; cupim-subterrâneo; cupim-arborícola; fungo embolorador/manchador; fungo apodecedor.
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeito às intempéries.	
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfurador marinho; fungo embolorador/manchador; fungo apodecedor.

Fonte: ABNT, 2022a, p. 79.

mação que auxilia na definição do tipo de tratamento a ser realizado e dá pistas para a identificação dos agentes degradadores.

A mesma norma apresenta um fluxograma síntese auxiliar para a definição do tipo de tratamento preservativo a ser empregado para o uso de madeira na construção civil, descrito na Figura 2.10.

Na segunda categoria dos agentes deterioradores, os não biológicos ou abióticos, encontram-se os agentes físicos, químicos, atmosféricos ou meteorológicos e o fogo (BRITO, 2014). Os agentes físicos se relacionam à madeira em uso, correspondendo a carga acidental e sobrecarga de componentes e sistemas construtivos. São corrigidos mediante avaliação, projeto e manutenção. A madeira

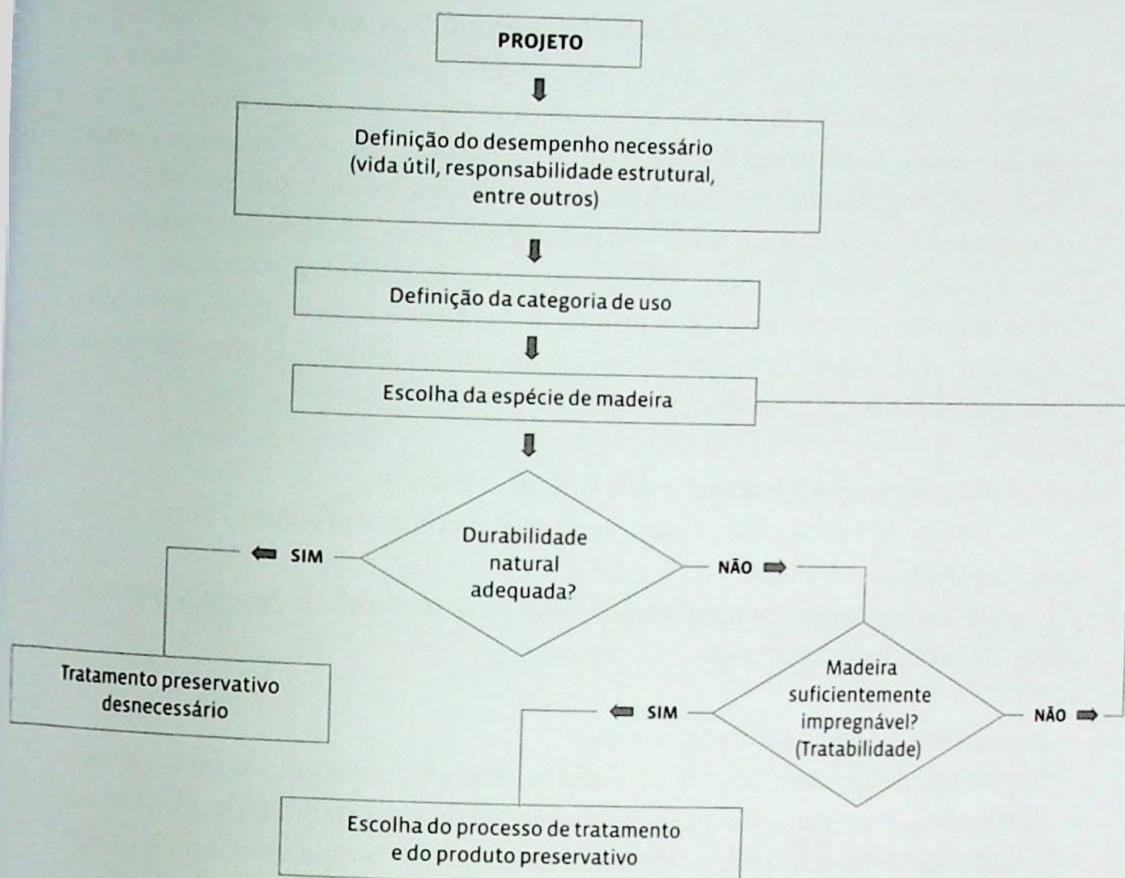


FIGURA 2.10

Fluxograma de preservação da madeira.

Fonte: ABNT, 2022a, p. 80.

possui boa resistência química, por isso, em geral, a deterioração por agentes químicos, ácidos ou básicos, resulta de acidentes.

Na deterioração por agentes atmosféricos e meteorológicos se destaca o intemperismo, o qual pode ser definido como a ação conjunta de luz ultravioleta, calor, umidade e partículas abrasivas, responsável pelo envelhecimento da madeira exposta (INO, 1997). Atuam em ambientes externos ou internos, em elementos de madeira expostos ou abrigados. Prejudicam a sua durabilidade, ainda que de forma mais lenta que outros agentes, degradando quimicamente seus elementos constitutivos, inclusive danificando o tratamento preservativo, expondo a madeira a agentes bióticos (CALIL JR. *et al.*, 2006).

A fim de evitar a ação de agentes bióticos e abióticos, em especial de fungos, insetos e intemperismo, é realizado o tratamento preservativo da madeira, em geral, pela pintura ou selagem das peças ou por impregnação das fibras. A escolha do método de tratamento e do produto preservativo a ser utilizado é realizada mediante parâmetros técnicos, considerando, entre outros fatores, a tratabilidade² da madeira, a sua durabilidade natural, a eficiência na prevenção ou no controle de organismos xilófagos, a segurança em relação ao homem e ao meio ambiente, a preservação das propriedades físicas e mecânicas da madeira (CALIL JR. et al., 2006). Em resumo, esses tratamentos podem ser classificados de três modos, de acordo com Ino (2009):

- Tratamento preservativo contra fungos e insetos.
- Tratamento preservativo para melhorar o comportamento contra a ação do fogo.
- Tratamento de acabamento superficial para melhorar o desempenho contra ação de intempéries.

2.4.2.4 Armazenagem da madeira seca

O processo de armazenamento da madeira seca, seja em serrarias ou em canteiros de obras, é fundamental para a manutenção de sua estabilidade dimensional e qualidade, principalmente se ela permanecer muito tempo estocada. A principal preocupação deve ser em relação à umidade, o que facilita o ataque de agentes xilófagos e a deformação das peças. Entre as recomendações, de acordo com CITEmadera (2009) e Marques e Martins (2002), estão:

- Armazenar a madeira em lugar coberto e bem ventilado.
- Armazenar as peças de forma horizontal, da maneira mais nivelada possível, separadas por tabiques, garantindo a circulação de ar entre as peças para a retirada da umidade.
- Não armazenar diretamente sobre o chão a fim de evitar a umidade por capilaridade.
- Verificar periodicamente as pilhas em relação ao aparecimento de umidade ou à infestação de agentes xilófagos.

² Tratabilidade se refere ao comportamento da madeira quanto ao nível de penetração e retenção do líquido preservativo (tratamento sob pressão). Pode ser classificada como muito fácil, moderadamente fácil, difícil ou não tratável (INO, 2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARUNDEL, S. V. et al. Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental health perspectives*, v. 65, 1986, pp. 351-361.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-2: Projeto de estruturas de madeira. Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais em madeira. Rio de Janeiro, 2022b.
- BRITO, Leandro Dussarrat. *Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação*. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- CALIL JR., C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. *Dimensionamento de elementos estruturais em madeira*. Barueri: Manole, 2003.
- CALIL JR., C. et al. *Manual de projeto e construção de madeira*. São Carlos: Suprema, 2006.
- CENTRO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICO DE LA MADERA (CITEmadera). *Guía de Contenidos: Técnicas de Secado de la Madera*, Serie 1: Competencias Básicas para la Producción Industrial de Muebles de Madera, Ministerio de la Producción, El Salvador, 2009.
- DEPLAZES, A. (Ed.). *Constructing architecture: materials, processes, structure*. Basel: Birkhäuser, 2005.
- FRANCO, J. T. Como as árvores são cortadas para produzir madeira com diferentes apariências e usos. *ArchDaily Brasil*, 7 ago. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/894421/distintas-utilidades-e-aparencias-conforme-o-corte-do-tronco-de-madeira>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- GAVA, Maristela. *Viabilidade técnica e econômica da produção de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira serrada de pinus de terceira classe de qualidade*. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). *Wood handbook — Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, pp. 4-1 a 4-19.
- GONZAGA, A. L. *Madeira: uso e conservação*. Cadernos técnicos 6. Brasília, DF: Iphan/Monumenta, 2006.
- HELLMEISTER, J. C. Madeiras e suas características. In: I Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, 1983, São Carlos. *Anais... I Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1983, p. 1-37.

- INO, A. *Projeto e construção em madeira*. Material produzido para o minicurso realizado no V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis e II Bienal de Sustentabilidade José Lutzenberger, Recife, PE, 2009.
- INO, A. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma edificação em madeira. *Workshop Durabilidade das Construções*, São Leopoldo, Brasil, 1997.
- KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FLP). *Wood handbook – wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, pp. 5-1 a 5-46.
- MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A. *Secagem da madeira*. Curso para capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e resíduos vegetais. Brasília: LPF, 2002.
- PEREIRA, A. F. (Ed.). *Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição*. São Paulo: Blucher, 2013.
- PINTO, Edna Moura. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. 2001. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FLP). *Wood handbook – wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, pp. 3-1 a 3-18.