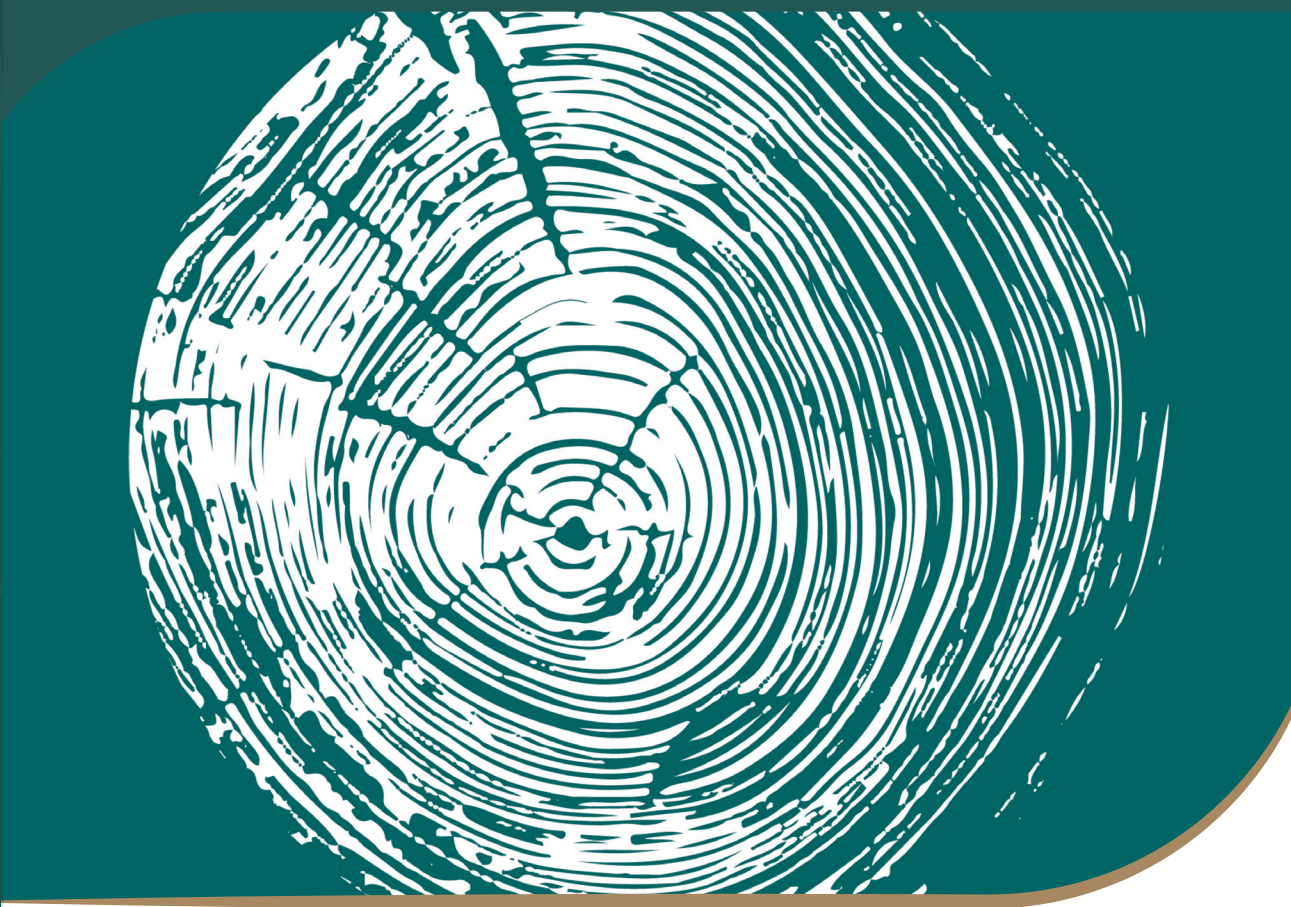
Organizadoras
AKEMI INO
LUCIA SHIMBO

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA



Blucher

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA

CONSELHO EDITORIAL

André Luiz V. da Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon De Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luís Augusto Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogerio Lerner

Blucher

Akemi Ino
Lucia Shimbo
Organizadoras

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA

Projetar e construir com madeira
© 2023 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

Projetar e construir com madeira / Akemi Ino, Lucia Shimbo organizadoras. – São Paulo : Blucher, 2023.
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

CONTEÚDO

Apresentação 9

INTRODUÇÃO
Breve histórico da construção em madeira no Brasil 17
Das construções indígenas ao início do século XX 21
O século XX 23
Iniciativas de introdução de tecnologias construtivas industrializadas em madeira 32
Sistema Hauff 33
Madeira lamelada colada (MLC) 36
Wood frame 37
Tendência de aumento do uso da madeira no século XXI 38
Referências bibliográficas 42

CAPÍTULO 1
Classificação, formação e características da madeira 45
1.1 Classificação botânica da madeira 48
1.2 Formação e composição anatômica da madeira 50
1.3 Características da madeira para a construção 56
1.3.1 Durabilidade natural 58
1.3.2 Propriedade térmica 58
1.3.3 Propriedade acústica 60
1.3.4 Emissão e sorção de COVs 63
1.3.5 Propriedades sensoriais 64
Referências bibliográficas 66

CAPÍTULO 2
Propriedades físicas e mecânicas da madeira **69**
2.1 Propriedades físicas **71**
2.1.1 Conteúdo de umidade **71**
2.1.2 Retratabilidade ou contração **73**
2.1.3 Densidade (massa específica da madeira) **76**
2.2 Propriedades mecânicas **76**
2.2.1 Compressão **77**
2.2.2 Tração **78**
2.2.3 Cisalhamento **78**
2.2.4 Flexão simples **78**
2.2.5 Dureza **80**
2.2.6 Classe de resistência da madeira e seus valores **81**
2.3 Resistência ao fogo **84**
2.4 Fatores que influenciam as propriedades da madeira **85**
2.4.1 Fatores anatômicos **85**
2.4.2 Fatores de processamento **87**
2.4.2.1 Desdobro da tora **87**
2.4.2.2 Processo de secagem **88**
2.4.2.3 Agentes degradadores e tratamento preservativo **91**
2.4.2.4 Armazenagem da madeira seca **98**
Referências bibliográficas **99**

CAPÍTULO 3
Produtos de madeira para construção **101**
3.1 Madeira maciça **105**
3.1.1 Madeira roliça **106**
3.1.2 Madeira serrada **108**
3.2 Madeira engenheirada **109**
3.2.1 À base de madeira serrada **110**
3.2.1.1 Madeira lamelada colada (MLC) **110**
3.2.1.2 Madeira lamelada pregada (NLT, na sigla em inglês) **111**
3.2.1.3 Madeira lamelada cavilhada (DLT, na sigla em inglês) **112**
3.2.1.4 Madeira lamelada colada cruzada (CLT, na sigla em inglês) **113**
3.2.1.5 Madeira lamelada cavilhada cruzada (DCLT, na sigla em inglês) **115**
3.2.2 À base de lâminas e tiras **116**
3.2.2.1 *Laminated Veneer Lumber* (LVL) **116**
3.2.2.2 *Parallel Strand Lumber* (PSL) **117**

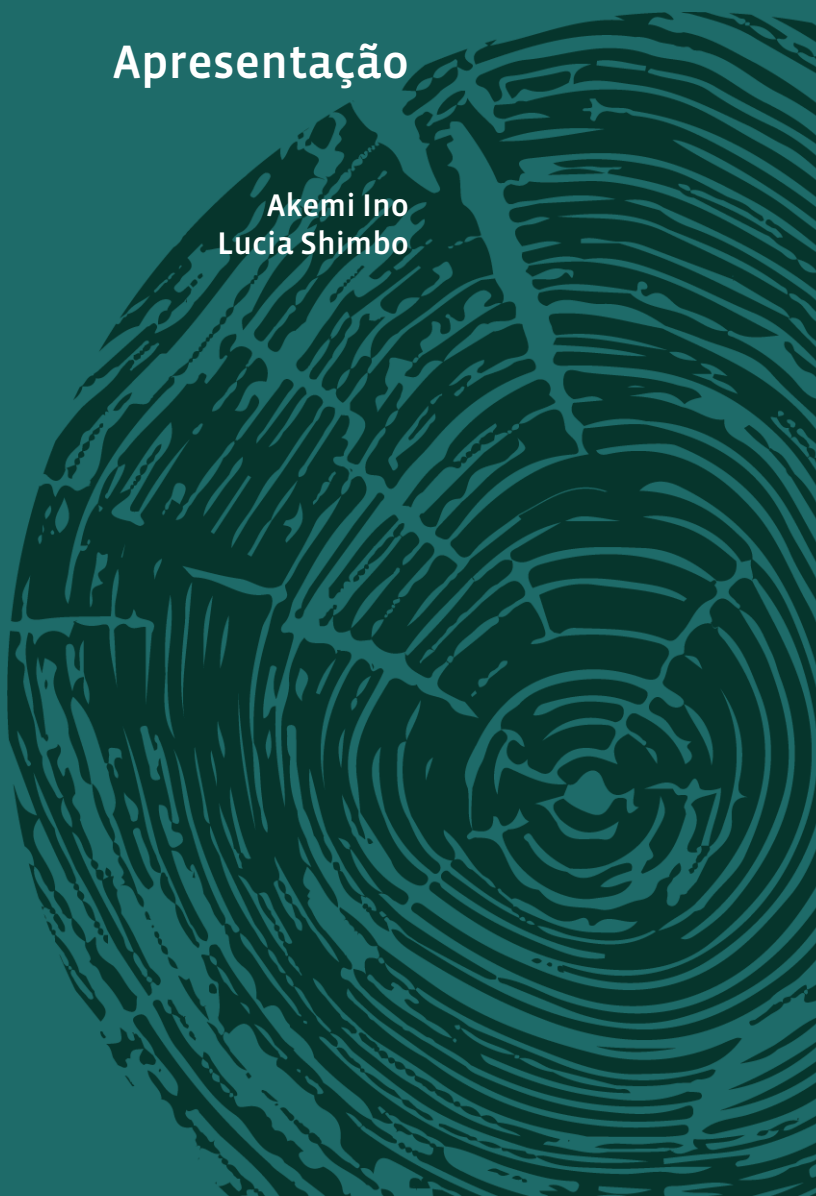
3.3 Derivados 118
3.3.1 Madeira compensada (*plywood*) 119
3.3.2 Painel de tiras orientadas (OSB) 120
3.3.3 Painel aglomerado (*Chipboard*) 121
3.3.4 Painel de fibra de madeira 122
Referências bibliográficas 124
Websites para pesquisa e conhecimento de produtos 126

CAPÍTULO 4
Projeto e construção de edifícios em madeira 127
4.1 Concepções estrutural, construtiva e arquitetônica 130
4.1.1 Sistemas construtivos 131
4.1.2 Análise estrutural 132
4.1.3 Modulação 134
4.2 Processos de fabricação 136
4.3 Princípios básicos para projeto em madeira 139
Concepção arquitetônica 139
Detalhamento construtivo 141
Obra e uso/manutenção 141
4.4 Sistemas construtivos 148
4.4.1. Pilar-viga 151
4.4.2 Entramado 161
4.4.2.1. Enxaimel 161
4.4.2.2. *Balloon Frame* 162
4.4.2.3. Plataforma (*wood frame*) 164
4.4.2.4. Panelizado 167
4.4.3. Parede maciça 167
4.4.3.1. Sobreposição de toras (*log construction*) 167
4.4.3.2. Madeira engenheirada 170
Referências bibliográficas 175

Sobre os autores 177
Sobre os ilustradores 179

Apresentação

Akemi Ino
Lucia Shimbo



A madeira é utilizada na construção do habitat desde os primórdios da humanidade, perpassando civilizações e culturas. No século XXI, a estrutura de madeira está entre as cinco mais empregadas para a construção de edifícios, junto com a de concreto, aço, alvenaria e as estruturas compostas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). Há uma tal diversificação do uso da madeira na construção que nos leva a um paradoxo, principalmente nos países em desenvolvimento, como é o caso brasileiro.

Grande parte da construção civil brasileira utiliza a madeira como um material para execução de serviços durante o canteiro de obras (formas e escoramento para estruturas de concreto, por exemplo) ou como parte do sistema de cobertura (telhados de madeira) ou, ainda, para esquadrias (janelas e portas) e demais acabamentos (forros, pisos, rodapé). Apesar do avanço na difusão de sistemas construtivos em madeira que se acelerou desde o final do século XX no país, ainda enfrentamos barreiras sociais e culturais que conotam o uso da madeira como temporário e perecível, associada às habitações precárias e de baixa durabilidade. Ou, em conotação oposta, é a estrutura de madeira tão valorizada em residências de proprietários de alta renda ou em sistemas construtivos mais industrializados e que apresentam um alto custo, resultando num entrave para essa difusão. Ao mesmo tempo, temos um clima e, ainda, uma considerável quantidade de florestas que potencializariam a utilização da madeira como material principal de sistemas construtivos para diferentes tipos de edifícios e grupos sociais.

A presente obra didática busca contribuir para a superação desse paradoxo e para a difusão da madeira na arquitetura e na construção no Brasil. O objetivo é apresentar de forma clara e didática os princípios, os processos e os detalhes da

construção em madeira para que estudantes, profissionais, professores e pesquisadores passem a prescrever, cada vez mais, a madeira como objeto de estudo, de trabalho e de construção de edifícios. Esse objetivo se justifica na medida em que um dos entraves ao uso do material é justamente a ausência de recursos humanos capacitados atuando na área (BITTENCOURT; HELLMEISTER, 1995).

Com a difusão da construção em madeira no Brasil, contribuímos também para a mudança do paradigma do setor da construção civil, voltado hoje para a utilização do concreto. Essa mudança se torna premente, tendo em vista a emergência das mudanças climáticas, que se tornam ainda mais perversas em países com grandes desigualdades sociais. De acordo com o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), lançado em 2022, as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) de edifícios correspondiam a 21% das emissões globais de GEE no ano de 2019. Desdobrando-se essa parcela dos edifícios, 57% provêm das emissões indiretas da geração de eletricidade e calor, 24% são emissões diretas produzidas no local e 18% são emissões incorporadas do uso do cimento e aço (IPCC, 2022, p. 17).

Procurando mitigar esses efeitos ambientais, ao invés de pensarmos os edifícios como emissores de GEE, podemos imaginá-los como *reservatórios de carbono* quando usamos a madeira. Isso porque ela armazena carbono durante a vida útil do edifício, ao ser utilizada como material construtivo – estoca perto de uma tonelada de CO_2 para cada 1 m^3 de madeira aplicada como parte constituinte da edificação, ao longo de todo seu ciclo de vida (KUITTINEN, LUDVIG, WEISS, 2013; LEHMANN, 2013). Além disso, apresenta uma proporção relativamente pequena de emissões de carbono durante sua produção, comparada em volume, desde que proveniente de processo de extração e de beneficiamento que potencializem o uso do recurso florestal (PUNHAGUI, 2014).

Além de ser um dos únicos materiais que armazena quantidades significativas de CO_2 da atmosfera, a madeira é de fácil biodegradabilidade, proveniente de fonte de recurso renovável, o que acontece tanto por meio dos plantios florestais quanto pelo manejo adequado de florestas nativas. O ciclo de regeneração das florestas permite uma fonte praticamente inesgotável de recursos: a madeira pode ser plantada, colhida e utilizada infinitamente enquanto houver capacidade de suporte do planeta Terra.

Para a produção de componentes construtivos em madeira, se comparada ao cimento e ao aço, é preciso uma baixa quantidade de energia gasta em sua obtenção e processamento, o que reduz a energia incorporada de elementos com ela produzidos (LEHMANN, 2013). A baixa relação entre densidade e resistência do material permite a redução do peso da estrutura do edifício, possibilitando uma

quantidade menor de materiais aplicados nos sistemas de fundação, por exemplo (KOLB, 2008). A madeira também possui alto grau de reutilização e reciclagem, quando empregada a partir de princípios de montagem e desmontagem, podendo ser utilizada como fonte de bioenergia ao final de seu ciclo de vida (HOWE, 2015; HILDEBRANDT, HAGEMANN, THRÄN, 2017).

Além dessas vantagens ambientais, a madeira pode ser utilizada em sistemas construtivos que não dependem de grandes estruturas de produção, ao contrário do cimento e do aço, que são fornecidos por oligopólios ou até monopólios. Possibilita, assim, a produção tanto em pequenas unidades de pré-fabricação (serrarias e marcenarias) quanto em fábricas de alta tecnologia. Como sistema construtivo, apresenta possibilidades de maior padronização e de implementação de processos de pré-fabricação de componentes construtivos, que diminuem o tempo das obras (ARRUDA, 2000). Dessa forma, contempla também as dimensões econômicas e sociais dentro do horizonte da sustentabilidade da arquitetura e da construção.

Podemos acrescentar, ainda, outras vantagens do uso da madeira para construção de edifícios: facilidade de manuseio e grande trabalhabilidade do material; grande resistência mecânica, em vista da sua densidade diminuta; agradabilidade ao tato e conforto ao ser humano, por ser um material orgânico; possibilidade de reaproveitamento, com pouca perda de material nas reformas e ampliações (INO, 1992). Ademais, trata-se de um material de alto desempenho e durabilidade, desde que adotados alguns princípios fundamentais em sua produção, seu uso e sua manutenção.

Do ponto de vista do ensino, o projeto e a construção de edifícios em madeira são de fácil apreensão e compreensão, desde que se conheça as características do material e seu comportamento, para especificar seu melhor uso, bem como as suas opções construtivas, que são muitas. Nesse sentido, procuramos simplificar o entendimento sobre o panorama dos sistemas construtivos em madeira e aperfeiçoar o diálogo entre princípios de projeto e de construção. Este trabalho é fruto de mais de 40 anos de atuação no ensino e na pesquisa nas disciplinas de tecnologia das construções em cursos de arquitetura e engenharia civil.

Para a presente obra didática, além dessa trajetória de reflexão e de atuação, foram adotadas as estratégias metodológicas de pesquisa bibliográfica e documental, realizadas por diversos estudantes de pós-graduação e de graduação, sob supervisão das organizadoras.

Esta obra está organizada em quatro capítulos, além de uma introdução que sintetiza o histórico da construção em madeira no Brasil. No Capítulo 1, são apresentadas a classificação botânica, a formação e a composição anatômica da madeira

enquanto material natural, assim como são descritas as suas características como material construtivo. O Capítulo 2 destaca as propriedades físicas e mecânicas da madeira, cujo conhecimento é fundamental para o pré-dimensionamento de estruturas em madeira. O Capítulo 3 elenca os diversos produtos da madeira disponíveis no mercado da construção civil, procurando ampliar as possibilidades de aplicação desses produtos nos projetos de edifícios. Por fim, no Capítulo 4, são apresentadas as questões que precisam ser levadas em consideração no momento das concepções estrutural, construtiva e arquitetônica, envolvendo princípios básicos para garantir a durabilidade do edifício e o conhecimentos sobre os diferentes sistemas construtivos em madeira e seus respectivos arranjos estruturais, detalhes construtivos e processos de fabricação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arruda, M. P. *Diretrizes para projeto arquitetônico de habitação social em pinus produzida por mutirão*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

Bittencourt, R. M.; Hellmeister, J. C. *Concepção arquitetônica da habitação em madeira*. Boletim Técnico da Epusp, BT/PCC/155, São Paulo, 1995.

Hildebrandt, J.; Hagemann, N.; Thrän, D. The contribution of wood based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 34, 2017, p.405-418. Doi: 10.1016/j.scs.2017.06.013.

Howe, J. Building with wood: proactive climate protection. *Dovetail Partners*. Minneapolis, 2015. Disponível em: https://www.dovetailinc.org/portfoliodetail.php?id=5e2b289fcc05c. Acesso em: 14 ago. 2023

International Energy Agency. *Material efficiency in clean energy*, 2019. Disponível em: https://www.iea.org/. Acesso em: 14 ago. 2023.

Ino, A. *Sistema estrutural em eucalipto roliço para habitação*. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

Intergovernmental Panel on Climate Change (ipcc). Chapter 9: Buildings. In: *Sixth Assessment Report*, ipcc ar6wgiii, Final Government Distribution. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/.

Kolb, J. *System in timber engineering*. Suíça: Birkhäuser, 2008.

Kuittinen, M.; Ludvig, A.; Weiss, G. (ed.). *Wood in carbon efficient construction: tools, methods and applications.* Bélgica: cei Bois, 2013.

Lehmann, S. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society*, 6, 2013, 57 67. Doi: 10.1016/j.scs.2012.08.004.

Punhagui, K. R. G. *Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera*. Universidad Politécnica de Cataluña e Universidade de São Paulo, Barcelona/São Paulo, 2014.

INTRODUÇÃO
Breve histórico da construção em madeira no Brasil

Erich Kazuo Shigue



Este capítulo é uma revisão e uma atualização de parte da dissertação do autor intitulada "Difusão da construção em madeira no Brasil: agentes, ações e produtos" (ver: SHIGUE, 2017).