

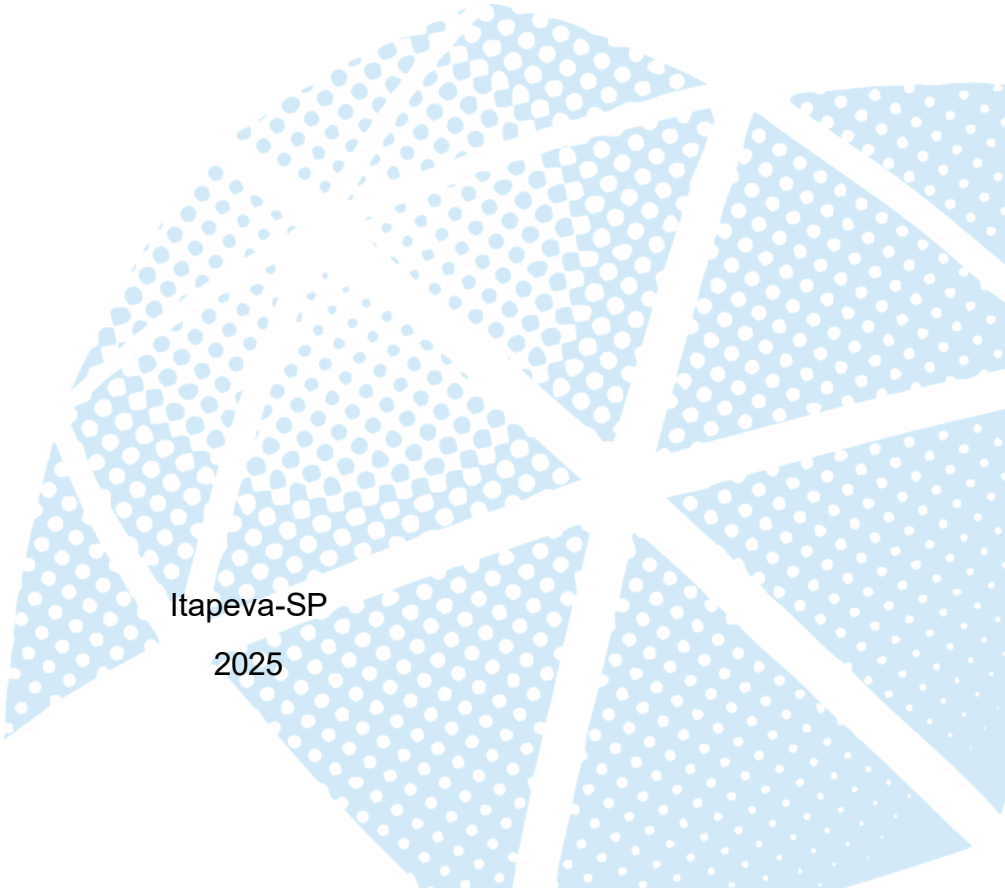
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Ciências e Engenharia (ICE) - Campus de Itapeva

JULIA ARCANJO GORI

Desempenho e potencial da madeira engenheirada na construção civil

Itapeva-SP

2025



JULIA ARCANJO GORI

Desempenho e potencial da madeira engenheirada na construção civil

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Câmpus de Itapeva –
Instituto de Ciências e Engenharia (ICE),
para obtenção do título de Bacharela em
Engenharia Industrial – Madeira.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mariana Pires
Franco

Itapeva-SP

2025

G669d	Gori, Julia Arcanjo Desempenho e potencial da madeira engenheirada na construção civil / Julia Arcanjo Gori. -- Itapeva, 2025 105 p. : il., tabs., fotos, mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial - Madeira) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva Orientadora: Mariana Pires Franco 1. Construção de madeira. 2. Madeira engenheirada. 3. Construção de madeira laminada. 4. Estruturas de madeira (Construção civil). 5. Sustentabilidade. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).



JULIA ARCANJO GORI

Desempenho e potencial da madeira engenheirada na construção civil

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARIANA PIRES FRANCO

Data: 19/11/2025 08:46:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof.^a Dr.^a Mariana Pires Franco
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Documento assinado digitalmente



MATHEUS PERES CHAGAS

Data: 18/11/2025 10:44:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

2º Examinador: Prof. Dr. Matheus Peres Chagas
Universidade Federal de Goiás -UFG.

Documento assinado digitalmente



MARCOS CESAR DE MORAES PEREIRA

Data: 18/11/2025 17:34:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

3º Examinador: Prof. Dr. Marcos Cesar de Moraes Pereira
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 17/11/2025.

Dedico este trabalho ao meu avô, Nelson Miguel Arcanjo, por todo amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante, ensinamentos e contribuições que foram essenciais para o meu desenvolvimento e para chegar em meu objetivo.

À professora e orientadora Mariana Pires Franco e ao professor Marcos Cesar de Moraes Pereira, pela orientação e dedicação que foram fundamentais para a construção e desenvolvimento do meu trabalho durante este período.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Itapeva, pela oportunidade de aprendizado e por todo o suporte oferecido durante a graduação vindo de diversos professores.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta etapa, deixo registrado meu sincero agradecimento.

RESUMO

A construção civil, a qual detém uma parcela significativa de contribuição à economia brasileira, tem enfrentado a necessidade de resolver os desafios provocados pelo seu impacto ambiental diante da crescente preocupação mundial relacionadas ao clima. Visando a substituição dos insumos convencionais, o setor passou a desenvolver novos materiais para construção civil. Nesse contexto, a madeira engenheirada surge como a resposta tecnológica que alia vantagens ecológicas e de desempenho. O presente trabalho tem por objetivo analisar o desempenho e o potencial da madeira engenheirada aplicada na construção civil brasileira, considerando aspectos estruturais, econômicos e ambientais em comparação com materiais convencionais, como concreto e aço. A metodologia foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica e uma análise de uma obra bem-sucedida no Brasil, buscando compreender de que forma esse material pode contribuir para práticas construtivas mais sustentáveis, eficientes e inovadoras. Os dados para avaliação foram coletados a partir de artigos científicos, livros e fontes técnicas e possibilitaram avaliar o comportamento da madeira engenheirada em diversos quesitos. Os resultados demonstraram que a madeira engenheirada, como exemplo a madeira lamelada colada e madeira lamelada colada cruzada, apresentam desempenho estrutural equivalente aos materiais tradicionais, com vantagens adicionais como leveza, precisão dimensional, eficiência térmica, menor emissão de carbono, além da capacidade de industrialização de sua fabricação, que garante um maior controle de qualidade, redução de desperdício e rapidez na execução das obras. Apesar do seu grande potencial a madeira engenheirada ainda enfrenta barreiras culturais, ausência de mão de obra especializada e limitações normativas que dificultam sua adoção em larga escala no país. Conclui-se que a madeira engenheirada apresenta uma alternativa promissora para a construção civil contemporânea contribuindo para a transição do setor rumo a edificações mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: MLC; *wood frame*; Fazenda Canuanã; sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry, which holds a significant share of the Brazilian economy, has been facing the need to address the challenges caused by its environmental impact amid growing global concern about climate change. Aiming to replace conventional materials, the sector has begun developing new materials for civil construction. In this context, the engineered wood emerges as a technological solution that integrates ecological and performance advantages. The present study aims to analyze the performance and potential of engineered wood in Brazilian civil construction, considering structural, economic, and environmental aspects in comparison with conventional materials such as concrete and steel. The methodology was constructed through a literature review and an analysis of a successful construction project in Brazil, seeking to understand how this material can contribute to more sustainable, efficient, and innovative construction practices. The data for the evaluation were collected from scientific articles, books, and technical sources, which allowed for the assessment of the engineered wood's behavior in various aspects. The results demonstrated that engineered wood, such as glued laminated timber and cross-laminated timber, present structural performance equivalent to traditional materials, with additional advantages such as lightness, dimensional precision, thermal efficiency, lower carbon emissions, and the industrialization capacity in its production, which ensures greater quality control, waste reduction, and faster construction processes. Despite its great potential, engineered wood still faces cultural barriers, a lack of specialized labor, and regulatory limitations that hinder its large-scale adoption in the country. The article concludes that engineered wood represents a promising alternative for contemporary civil construction, contributing to the sector's transition toward more efficient and environmentally responsible buildings.

Keywords: Glulam; wood frame; Fazenda Canuanã; sustentability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de área plantada no Brasil	20
Figura 2 - Mapa da área total de floresta plantada em 2023.....	21
Figura 3 - Camadas da parede celular da madeira.....	23
Figura 4 – Anatomia macroscópica do tronco.....	25
Figura 5 – Representação esquemática dos planos de corte da madeira	29
Figura 6 - Seção carbonizada de madeira	36
Figura 7 - Entraves e Ações para a Inserção da Madeira na Construção Civil	37
Figura 8 - Componentes Construtivos em madeira.....	41
Figura 9 - Configuração de viga de MLC	43
Figura 10 – Esquema Finger Joint na madeira lamelada colada	43
Figura 11 - Configuração do painel de CLT	44
Figura 12 - Madeira microlaminada – LVL.....	45
Figura 13 - Tipos de emendas longitudinais	46
Figura 14 - Estrutura do edifício.....	64
Figura 15 - Montagem do prédio.....	65
Figura 16 - Loja Dengo em São Paulo/SP	66
Figura 17 - Fazenda Canuanã.....	68
Figura 18 - Pavimento térreo com tijolo e mezanino da edificação	70
Figura 19 - Estrutura da Fazenda Canuanã.....	71

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Comparação entre construção em <i>wood frame</i> e alvenaria	79
Gráfico 2 - Frequência dos principais benefícios da madeira identificados na literatura	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento de uma casa de 52,4 m ² feita de <i>wood frame</i>	50
Tabela 2 - Orçamento de uma casa de 52,4 m ² feita de alvenaria	50
Tabela 3 - Comparação na fabricação da madeira, aço e concreto.....	59
Tabela 4 - Comparativo entre materiais da construção	59
Tabela 5 - Utilização dos materiais para melhor desempenho	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
2.3	Proposição.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	Plantio de florestas no Brasil	20
3.2	Características da madeira	21
3.2.1	Parede celular	22
3.2.2	Formação e estrutura macroscópica	23
3.2.3	Coníferas e Folhosas	27
3.3	Propriedades da madeira.....	28
3.3.1	Anisotropia	28
3.3.2	Propriedades organolépticas.....	29
3.3.2.1	Cor.....	29
3.3.2.2	Cheiro.....	30
3.3.2.3	Gosto.....	30
3.3.2.4	Desenho.....	30
3.3.2.5	Brilho	30
3.3.2.6	Textura	31
3.3.2.7	Grã.....	31
3.4	Propriedades físicas	32
3.4.1.1	Densidade.....	32
3.4.1.2	Retratibilidade.....	33
3.4.1.3	Permeabilidade	33
3.5	Propriedades mecânicas	33
3.6	Relação água-madeira	34
3.7	Relação da madeira e fogo.....	34
3.8	Construção civil e uso da madeira	36
3.9	Florestas e construção civil.....	39
3.10	Madeira engenheirada.....	40
3.11	Madeira lamelada colada (MLC) como uma alternativa na construção civil.....	45
3.12	Wood frame	49

3.13	Durabilidade da madeira engenheirada.....	50
3.14	Valor da madeira engenheirada	51
3.15	Especificações e particularidades da madeira	54
3.16	Potencialidades e desafios de materiais usados na construção civil.....	55
3.17	Concreto	60
3.18	Comparação entre construção em madeira, concreto e aço.....	62
3.19	Arquitetura contemporânea em madeira: obras de referência.....	64
3.20	Estudo de caso: Fazenda Canuanã	67
3.20.1	Descrição geral do projeto.....	67
3.20.2	Características construtivas.....	68
3.20.3	Aspectos arquitetônicos e sociais.....	69
4	MATERIAIS E MÉTODOS	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
5.1	Sustentabilidade no uso da madeira e emissão de carbono.....	74
5.2	Desempenho estrutural e segurança	75
5.3	Panorama das empresas brasileiras de madeira engenheirada	76
5.4	Custo e eficiência construtiva	78
5.5	Comparativo entre materiais estruturais	80
5.6	Principais benefícios da madeira engenheirada identificados na literatura	84
5.7	Desafios operacionais e custo: perspectiva prática	86
5.8	Exemplo prático de utilização de Madeira engenheirada bem-sucedida: Fazenda Canuanã.....	87
5	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

O aumento da visibilidade de pautas de impacto ambiental iniciou-se debates que culminaram, em 1987, na criação do Relatório *Brundtland*, que se caracterizou como uma forma de preocupação ambiental. Segundo este documento, compreende-se por desenvolvimento sustentável a possibilidade de atender as necessidades da sociedade atual sem comprometer as futuras, exemplificando o equilíbrio entre ações antrópicas e meio ambiente (De Oliveira; Gentil, 2024).

Dentre os diversos setores que compõem a comunidade, o da construção civil tem um grande impacto ambiental e econômico, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. Apesar de se caracterizar como um setor gerador de um alto volume de resíduos e emissões de gases e, também, consumidor de água e energia, ele influencia de forma positiva não apenas o progresso técnico, arquitetônico e mudanças das necessidades, como também, valores culturais de uma sociedade (Ferrari, 2011). Além disso, com a evolução da sociedade, as tecnologias na construção civil foram criadas como forma de adaptação às condições climáticas, recursos disponíveis e, conseqüentemente, melhorando as condições de vida e sobrevivência (Couto *et al.*, 2013).

Mesmo com avanços em eficiência energética e políticas ambientais, o setor da construção permanece como um dos maiores responsáveis pelo agravamento da crise climática. Segundo o relatório *Global Status Report for Buildings and Construction* (2025), publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - UNEP, as edificações e suas atividades são responsáveis por cerca de 32% de toda a energia consumida no mundo e por aproximadamente 34% das emissões globais de CO₂. Além disso, boa parte desse impacto decorre da produção de materiais como cimento e aço, que juntos representam cerca de 18% das emissões globais, além de contribuírem significativamente para o volume de resíduos gerados pela construção civil. Esses indicadores reforçam a urgência de ampliar o uso de alternativas construtivas mais limpas e sustentáveis.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - ABRAINC (2021), o mercado da construção civil tem um papel fundamental na economia e tem contribuído significativamente para a criação de empregos e, como resultado, possibilita a movimentação do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

Contudo, não diferente do mundo todo, no Brasil essa indústria também é uma das principais responsáveis por danos ao meio ambiente, resultando especialmente na degradação de florestas naturais. A obtenção de matérias-primas, a realização das obras e o descarte impróprio de resíduos provocam efeitos como a contaminação do ar, dos recursos hídricos e perda da biodiversidade (Roth e Garcias, 2009). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2022) apenas no Brasil, esse setor gera por volta de 25% do total de resíduos da indústria e 60% dos lixos da cidade.

Como a realidade da sociedade atual é um reflexo das ocorrências históricas, os materiais utilizados hoje em dia não fogem desta perspectiva. A utilização do concreto na construção civil surgiu da tentativa de solucionar problemas da antiguidade (Couto *et al.*, 2013) que por sua vez se tornou um dos materiais mais utilizados neste segmento, justificado pela facilidade de sua utilização, sua capacidade de se moldar de várias formas e tamanho e pelo baixo custo de mão-de- obra (Pinheiro; Muzardo; Santos, 2007).

Em resposta ao desenvolvimento de novos métodos de construção que tem foco na conscientização ambiental, a utilização da madeira na construção civil vem ganhando destaque, reforçando sua importância no setor, proporcionando uma redução em aproximadamente 31% as emissões de gases e diminuição do desperdício em 30%. Além disso, as obras em madeira também apresentam um tempo de construção até 50% menor em comparação a outros métodos e materiais. Além de suas vantagens ambientais, esse material versátil pode ser aplicado em diversas etapas da obra, desde acabamentos e formas para concreto até elementos estruturais (IBÁ, 2022).

Apesar de haver muitos materiais sobre concreto armado, aço e madeira na construção civil ainda existem questionamentos sobre a viabilidade destes materiais (Araújo, 2017). Para que escolhas mais sustentáveis sejam feitas e que também levem em consideração sua viabilidade econômica, desempenho estrutural e tempo de construção no âmbito brasileiro é necessário um embasamento técnico que compare esses materiais de maneira detalhada.

Nesse sentido, ainda existe uma lacuna importante na literatura brasileira sobre madeira engenheirada, especialmente no que diz respeito a estudos aprofundados que considerem desempenho estrutural em condições nacionais, custo,

competitividade e impactos ambientais. Embora haja avanços internacionais, o Brasil ainda carece de pesquisas integradas e contextualizadas, o que evidencia a relevância deste trabalho.

Outro ponto relevante é a resistência técnica e cultural existente no Brasil quanto ao uso da madeira engenheirada. Essa resistência está associada a percepções históricas que vinculam a madeira à baixa durabilidade ou a construções precárias, enquanto o concreto e o aço dominam tanto o ensino universitário quanto o mercado. Esses fatores dificultam a adoção de soluções construtivas mais inovadoras e sustentáveis.

A justificativa para a presente pesquisa está no potencial da madeira engenheirada em contribuir para práticas construtivas alinhadas ao pensamento de sustentabilidade, eficiência e inovação, além de reforçar a importância ambiental.

Sua relevância para a área está em fornecer subsídios técnicos e acadêmicos para engenheiros, arquitetos e gestores da construção civil, auxiliando na escolha consciente de materiais. Ao investigar sobre a viabilidade da aplicação da madeira engenheirada, o trabalho também colabora para a difusão do conhecimento de uma tecnologia já consolidada em outros países, mas que ainda está em fase de inserção no Brasil, aproximando o setor nacional de práticas construtivas inovadoras e sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho e as potencialidades da madeira engenheirada no contexto da construção civil brasileira, investigando sua competitividade diante de materiais convencionais, especialmente o concreto e o aço.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer e explorar as especificidades da madeira como material de uso estrutural;
- Discutir a relevância, prós e desafios do uso da madeira engenheirada;
- Discutir as vantagens, desvantagens e potencialidades do MLC e do *wood frame*;
- Realizar uma comparação no escopo ambiental e financeiro entre a madeira e outros materiais estruturais, como aço e concreto, no contexto da construção civil;
- Compreender se há viabilidade da aplicação da madeira engenheirada na construção civil brasileira e
- Conhecer e explorar os benefícios da utilização da madeira engenheirada na construção civil, por meio de estudo de caso da Fazenda Canuanã.

2.3 PROPOSIÇÃO

Este trabalho propõe analisar o desempenho e potencial da aplicação da madeira engenheirada na construção civil, por meio da investigação do seu potencial competitivo em relação a materiais tradicionalmente utilizados, como o concreto e o aço. Partindo da premissa de que a madeira, quando processada tecnologicamente em sistemas como *wood frame*, Madeira Lamelada Colada e Madeira Lamelada Cruzada, pode oferecer desempenho estrutural, econômico e ambiental equivalente ou superior às soluções comumente utilizadas. Ademais, ressalta-se a pertinência acadêmica do estudo, que busca fomentar o avanço das pesquisas voltadas a materiais alternativos e inovadores aplicáveis à construção civil.

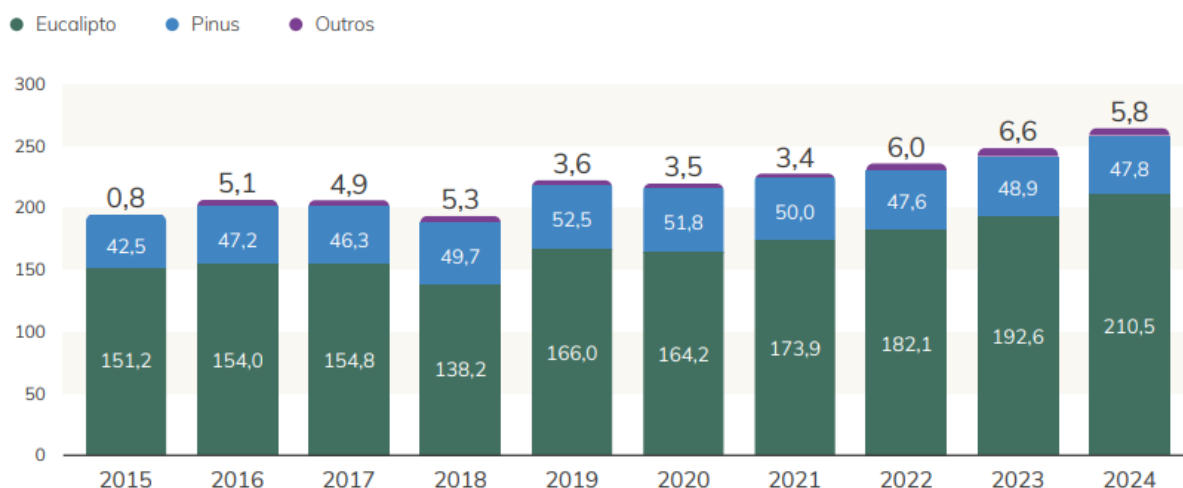
A pesquisa busca demonstrar não apenas a relevância do uso da madeira engenheirada em termos de sustentabilidade e eficiência nos projetos, mas também identificar e apresentar exemplos de empresas que já exploram essa tecnologia no país. Assim, pretende-se discutir de que forma a adoção mais ampla da madeira engenheirada exige uma transformação cultural e de consumo na indústria da construção civil, aproximando o Brasil de práticas construtivas inovadoras e sustentáveis observadas em contextos internacionais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PLANTIO DE FLORESTAS NO BRASIL

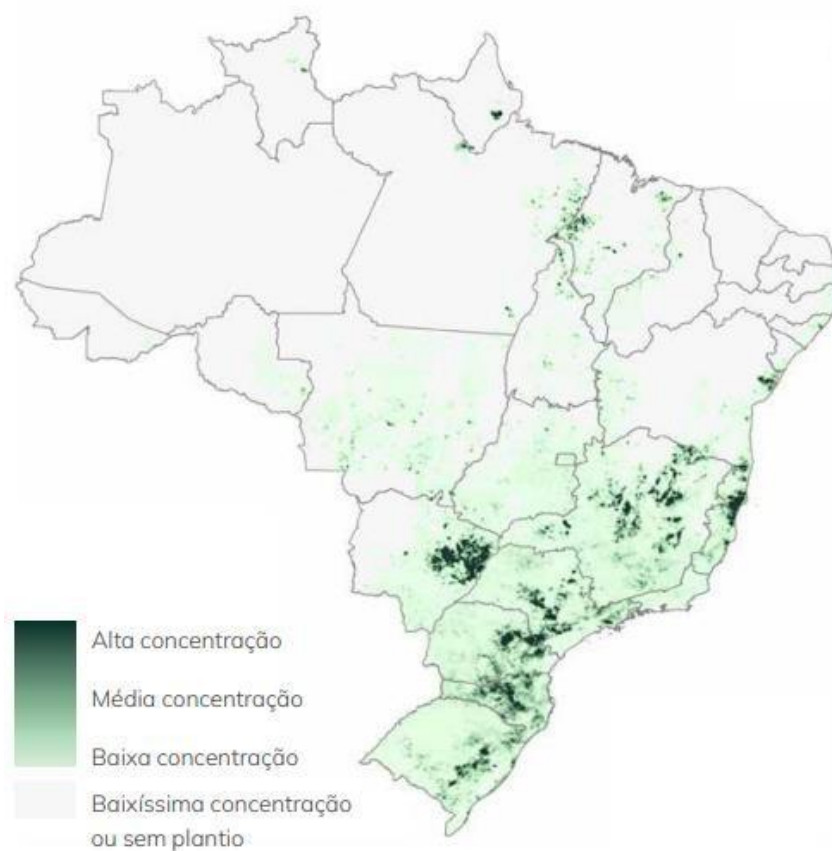
De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2025), em 2024 as florestas plantadas no Brasil atingiram cerca de 10,5 milhões de hectares, por outro lado, houve a conservação de cerca de 7 milhões de hectares de florestas nativas. Entre as espécies cultivadas, o *Eucalyptus* e o *Pinus* (Figura 1) tiveram seu maior destaque no plantio e estão concentrados principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Figura 2). Entre os diversos produtos advindos destas florestas estão a papel, pellets, celulose, madeira serrada e carvão. O setor madeireiro vem investindo cada vez mais em alternativas sustentáveis juntamente com o desenvolvimento tecnológico, com isso a utilização de madeira engenheirada vem ganhando espaço e tem se tornado uma alternativa sustentável para a utilização na construção civil (IBÁ, 2025).

Figura 1 - Distribuição de área plantada no Brasil



Fonte: IBÁ, 2025.

Figura 2 - Mapa da área total de floresta plantada em 2023



Fonte: IBÁ, 2025

Ainda de acordo com o IBÁ (2025), as pesquisas relacionadas à produtos florestais vêm ganhando destaque, especialmente pela busca de usos da madeira em construção de menor impacto ambiental, acarretando o surgimento de novas tecnologias. Segundo Bittencourt (1995) o setor madeireiro varia de acordo com a região, forma de exploração e da plantação. A região Sul do país é a que mais possui estudos a respeito deste assunto, o que pode ser justificado pela presença de mais indústrias de madeira engenheirada nesta região (Araújo, 2017).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

Segundo Farias e Melo (2020) o conhecimento técnico sobre a madeira é essencial para definir seu uso como matéria-prima, permitindo a escolha dos métodos de beneficiamento mais adequados e sua aplicação de forma eficiente.

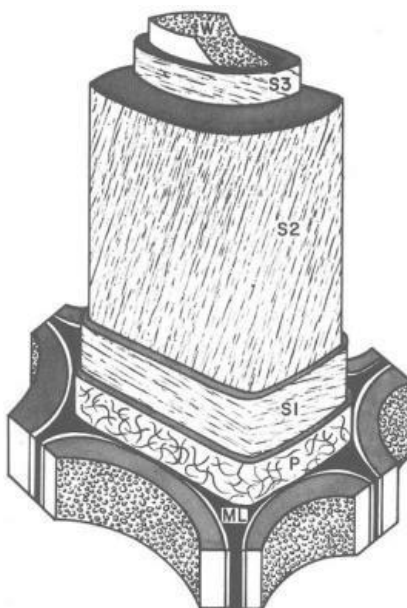
Miranda, Yojo e Souza (2023) acrescenta que a madeira demonstra uma grande diversidade de atributos, que se manifestam entre espécies distintas quanto na individualidade de cada espécie, as quais abrangem características anatômicas e composição química até as físicas e mecânicas, que interfere de forma direta no processo de secagem, durabilidade e manuseio.

3.2.1 Parede celular

As paredes das células vegetais da madeira são constituídas por camadas distintas chamadas de parede primária, secundária (dividida em S1, S2 e S3) e camada verrugosa (Figura 3). Essas camadas contêm microfibrilas de celulose orientadas de forma específica, o que garante resistência mecânica e estabilidade estrutural (Carvalho *et al.*, 2009).

A lamela média, localizada entre as células, é altamente lignificada e atua como elemento de ligação, enquanto a parede primária, primeira a ser formada, é fina e flexível, com baixo teor de celulose e presença de hemiceluloses, pectinas e proteínas. Após o crescimento celular, forma-se a parede secundária, cuja camada S2 é a mais espessa e rica em celulose, com microfibrilas organizadas quase paralelamente ao eixo celular, conferindo maior rigidez à estrutura. As camadas S1 e S3 apresentam arranjos helicoidais e maior teor de lignina, contribuindo para a proteção e resistência da célula. A variação na orientação das fibrilas e na composição química entre as camadas determina as propriedades físicas da madeira, resultando em uma estrutura sólida, porém adaptável às diferentes forças que atuam sobre o tecido (Klock; Andrade, 2013).

Figura 3 - Camadas da parede celular da madeira



Fonte: Loewus; Runeckles, 1967.

Legenda: Parede primária (P); Camada externa da parede secundária (S1); Camada média da parede secundária (S2); Camada interna da parede secundária (S3); Camada verrugosa (W); Lamela média (ML).

3.2.2 Formação e estrutura macroscópica

Segundo Gonzalez *et al.* (2009), a madeira é formada a partir da fotossíntese da planta, onde absorvem água, dióxido de carbono e assimilados se convertem em substâncias orgânicas. O desenvolvimento desse material é influenciado diretamente a fatores climáticos, edáficos e topográficos, o que leva madeiras de mesmas espécies a terem comportamentos de crescimento diferentes. Em função disso, a madeira possui propriedades tecnológicas distintas, ou seja, possui muita variabilidade.

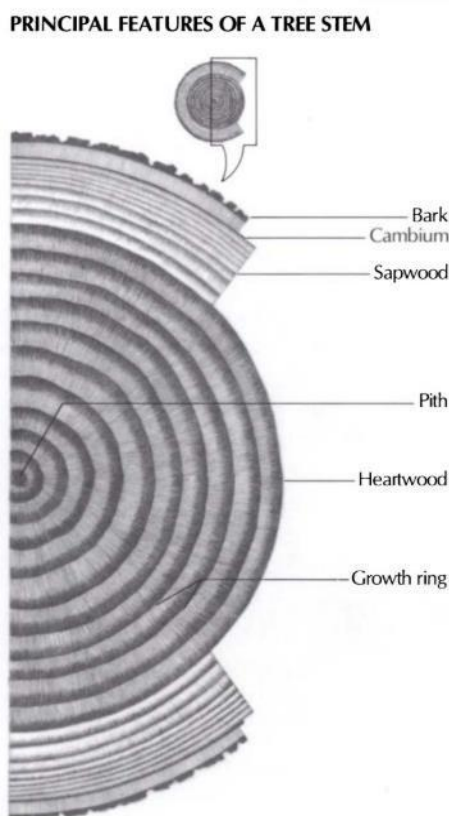
A madeira é um material orgânico e heterogêneo constituído predominantemente por tecidos formados por células com paredes celulares espessas, as quais são dispostas no sentido radial, tangencial e longitudinal, ligadas por meio de lignina, cujas características morfológicas, como forma e tamanho, variam conforme a espécie (Carvalho *et al.*, 2009). As células as quais possuem propriedades específicas e vitais como a condução de líquido, armazenamento, transformação, transporte de substâncias nutritivas e sustentação vegetal (Burger; Richter, 1991).

Este material é formado por diferentes tipos de células produzidas pelo câmbio, uma fina camada de tecido vivo localizada entre a casca e a madeira, ou seja, entre o xilema e o floema, em que permanece ativo durante toda a vida do vegetal além de ser responsável pela produção de tecidos secundários do xilema e da casca (Burger; Richter, 1991).

As células jovens advindas do câmbio, à medida que se desenvolvem, assumem diferentes formas e funções e, em sua maioria, passam a atuar na condução de seiva ou na sustentação da árvore, como é o caso dos elementos de vaso, traqueídeos e fibras, diferentemente das células do parênquima em que permanecem vivas por mais tempo e são responsáveis pelo armazenamento de substâncias (Hoadley, 1990).

Além das células longitudinais, a madeira também possui raios medulares, que representam menos de 10% do volume da madeira e são compostos por células orientadas perpendicularmente ao caule. Esses se estendem da medula até o câmbio, atravessando os anéis de crescimento, e variam de tamanho conforme a espécie, sendo eles importantes para a identificação da madeira. De forma geral a estrutura completa do caule inclui: casca, câmbio, alburno, cerne, anéis de crescimento e medula (Figura 4) (Hoadley, 1990).

Figura 4 – Anatomia macroscópica do tronco



Fonte: Hoadley, 1990.

Legenda: *Bark* – Casca; *Cambium* – Câmbio; *Sapwood* – Alburno; *Heartwood* – Cerne; *Pith* – Medula; *Growth ring* – Anel de crescimento

Os anéis de crescimento os quais representam, especialmente em climas temperados, o incremento anual da árvore é subdividido em dois grupos, sendo eles o lenho inicial e lenho tardio. O lenho inicial que corresponde ao crescimento da árvore no seu período de desenvolvimento, que normalmente ocorre na primavera, quando as plantas saem da dormência e retomam suas atividades fisiológicas com grande atividade, as células formadas nesse período possuem paredes finas e lumes (diâmetros internos) grandes, o que confere à madeira uma coloração clara e facilita o transporte de água e seiva bruta. Com a aproximação do fim do período vegetativo, geralmente no outono, forma-se o lenho tardio. Nessa fase, a atividade fisiológica da planta diminui, e as células produzidas têm paredes mais espessas e lumes menores, resultando em uma madeira com tonalidade mais escura e maior densidade. Essa

transição entre o lenho claro e o escuro é o que forma os anéis de crescimento, visíveis em cortes transversais do tronco (Burger; Richter, 1991).

Nas árvores, a porção lenhosa do caule envolvida na condução ascendente da seiva é denominada alburno, que contém células condutoras com cavidades abertas que permitem o transporte de fluidos, além de células parenquimáticas responsáveis pelo armazenamento de nutrientes. À medida que a árvore cresce e o tronco aumenta de diâmetro, a condução de seiva deixa de ocorrer em toda a sua seção transversal e com isso, na região central do tronco (mais próxima da medula) as células condutoras e parenquimáticas deixam de desempenhar suas funções metabólicas e passam a atuar apenas como estrutura de sustentação, caracterizando o que se chama de cerne (Hoadley, 1991).

Essa transformação é natural no processo de envelhecimento da madeira e marca a diferença entre a madeira fisiologicamente ativa (alburno) e a inativa (cerne). O cerne, por apresentar coloração mais escura, distingue-se visualmente do alburno, essa diferença de tonalidade deve-se, principalmente, ao acúmulo de extrativos que se depositam nas paredes celulares do cerne à medida que ele perde sua função fisiológica. Em contrapartida, o alburno, por ainda estar metabolicamente ativo, apresenta cores suaves e neutras, como bege ou amarelo-claro (Hoadley, 1990).

Burger e Richter (1991) dizem que à medida que o alburno deixa de exercer função fisiológica, ocorre a formação do cerne, caracterizada por uma série de modificações químicas e estruturais nos tecidos. Entre essas alterações, destaca-se a obstrução dos vasos condutores, por meio da deposição de substâncias como taninos, resinas, gomas e compostos fenólicos, ou ainda pelo surgimento de tiloses, que são formações celulares que bloqueiam mecanicamente os vasos. Essas transformações conferem ao cerne uma menor permeabilidade, dificultando tanto a penetração de líquidos quanto o processo de secagem.

Além disso, o cerne torna-se mais resistente ao ataque de organismos xilófagos (como fungos e insetos), em virtude da presença desses extrativos naturais com propriedades tóxicas ou repelentes. Já o alburno, mesmo que possa ter resistência mecânica semelhante à do cerne, por não conter esses compostos protetivos, é mais vulnerável e, portanto, exige tratamentos preservativos para usos externos ou em contato com umidade (Burger; Richter, 1991).

Outro elemento estrutural relevante na anatomia da madeira são os raios lenhosos, também conhecidos como raios medulares, que consistem em faixas horizontais de comprimento indefinido, formadas por células parenquimáticas especializadas no armazenamento de substâncias nutritivas e dispostas no sentido radial do tronco. Segundo Burger e Richter (1991), os raios podem ser observados nitidamente a olho nu quando apresentam grande largura e altura, estes desempenham função de armazenamento, além da distribuição horizontal de nutrientes dentro da madeira. Suas células, embora parenquimáticas, costumam apresentar uma longevidade maior quando comparadas a outras células do lenho. Do ponto de vista anatômico, os raios oferecem uma grande variação morfológica, o que os torna importantes referências para a identificação de espécies em análises microscópicas e macroscópicas.

O centro da madeira denominado medula, tem como função armazenar substâncias nutritivas para a árvore tornando-a uma região suscetível ao ataque de xilófagos, em que suas características, como cor, tamanho e forma podem variar de acordo com a espécie estudada (Burger; Richter, 1991).

3.2.3 Coníferas e Folhosas

Dentro do Reino Vegetal tem-se as plantas vasculares com sementes que se dividem em gimnospermas e angiospermas. As gimnospermas não apresentam frutos verdadeiros. Popularmente chamadas de coníferas (apesar de gimnospermas e coníferas não serem termos equivalentes, pois as “Coniferinae” são uma das classes da divisão gimnosperma), em inglês *softwood*. Já a palavra angiosperma significa semente protegida por fruto. A etimologia indica que os componentes desta divisão do Reino Vegetal apresentam frutos verdadeiros. Popularmente chamadas de folhosas, em inglês *hardwood*. As angiospermas incluem duas classes (de acordo com a APG III): i) Monocotiledôneas: plantas cujo embrião tem um cotilédone, a nervação da folha é usualmente paralela, os feixes vasculares primários do caule apresentam-se em disposição complexa e não possui crescimento secundário; ii) Eudicotiledôneas: plantas cujo embrião tem dois cotilédones, a nervação da folha é usualmente em rede, os feixes vasculares primários do caule apresentam-se em anel e possui crescimento secundário.

Por isso, a anatomia da madeira apresenta-se como uma ferramenta essencial na taxonomia de árvores de gimnospermas e angiospermas que possuem crescimento secundário, ou seja, que produzem lenho. No nível macro- e microscópico, ao analisar um pedaço de madeira ou lâminas histológicas respectivamente, é possível reconhecer grandes diferenças anatômicas entre gimnospermas e angiospermas.

A anatomia, portanto, constitui-se elemento fundamental para qualquer emprego industrial que se pretenda destinar a madeira, com os objetivos de: (i) conhecer sua estrutura e crescimento visando seu emprego correto; (ii) identificar espécies; (iii) distinguir madeiras aparentemente idênticas; (iv) predizer utilizações adequadas de acordo com suas características estruturais; (v) prever e compreender o seu comportamento no que diz respeito a sua utilização (Carlquist, 2001; Spicer, 2005).

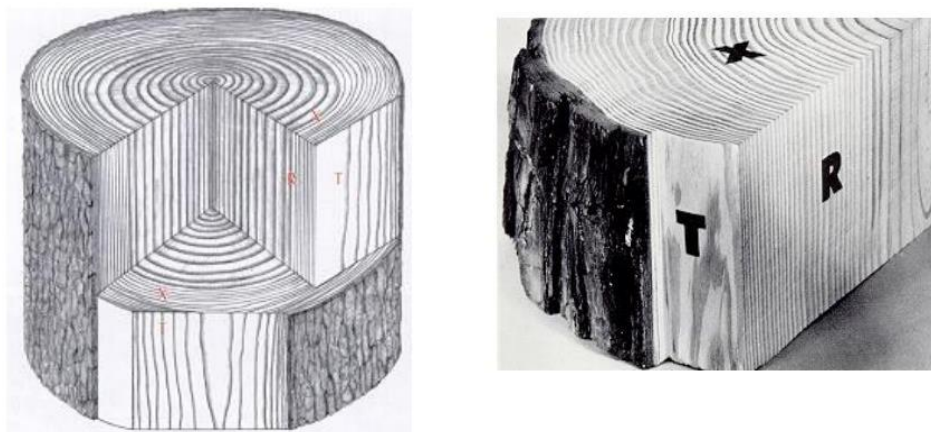
3.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA

3.3.1 Anisotropia

De acordo com Miranda, Yojo e Souza (2023) a madeira é um material anisotrópico, uma vez que as propriedades variam de acordo com a direção. Conforme Montagna (2009), na anatomia da madeira são considerados três planos principais, definidos a partir de um eixo de referência. O plano transversal, ou de topo, é perpendicular ao sentido das fibras e permite observar elementos como cerne, alburno, anéis de crescimento e raios. Já os planos tangencial e radial são ambos longitudinais. O plano tangencial é paralelo ao comprimento do tronco, tangente aos anéis de crescimento e perpendicular aos raios. O plano radial também é longitudinal, porém se diferencia por ser perpendicular aos anéis de crescimento e coincidir com a direção dos raios medulares (Figura 5).

Esses planos seguem a orientação natural do crescimento da árvore e apresentam características próprias, o que evidencia o comportamento anisotrópico da madeira. Compreender essa anisotropia é essencial para o entendimento de suas propriedades tecnológicas, físicas, químicas e mecânicas.

Figura 5 – Representação esquemática dos planos de corte da madeira



Fonte: Hoadly, 1990.

Legenda: X = plano transversal; R = plano radial; T = plano tangencial

3.3.2 Propriedades organolépticas

Dentre suas diversas particularidades, a madeira possui propriedade chamadas de organolépticas, em que se caracterizam por serem identificadas pelo sistema sensorial. Essas características são a cor, cheiro, gosto, desenho, brilho, textura e grã que variam de acordo com cada espécie (Moreschi, 2010).

3.3.2.1 Cor

A cor da madeira é considerada uma propriedade organoléptica relevante, tanto do ponto de vista estético quanto tecnológico. Ela resulta da deposição de substâncias corantes no interior das células que compõem o material lenhoso, como resinas, gomas e derivados tânicos, que impregnam as paredes celulares e conferem diferentes tonalidades às espécies (Silva, 2005).

Além disso, Moreschi (2010) diz que essa propriedade vai além de um aspecto decorativo, a cor da madeira também apresenta relação com fatores estruturais e ambientais. Em geral, o alburno apresenta coloração mais clara do que o cerne, localizado na porção central, onde predominam tons mais escuros devido ao acúmulo de extrativos. Esta característica também pode sofrer variação de acordo com a exposição da madeira ao ambiente (radiação solar), em que as substâncias orgânicas presentes na madeira sofrem oxidação e provocam o seu escurecimento.

3.3.2.2 Cheiro

O cheiro da madeira constitui uma propriedade organoléptica associada à presença de substâncias voláteis, localizadas predominantemente no cerne. Essas substâncias, entretanto, tendem a se dissipar com o tempo, à medida que a superfície da madeira permanece exposta, reduzindo gradativamente a intensidade do odor característico. Essa característica pode ter um odor agradável ou não ou até mesmo ser inodora, que influencia diretamente na sua utilização final (Moreschi, 2010; Silva, 2005).

3.3.2.3 Gosto

O gosto é uma propriedade que segundo Moreschi (2010) está diretamente relacionada com o odor uma vez que ambas são originárias da mesma substância, mas por ser uma característica muito variável e pode oferecer riscos de intoxicação está deixou de ser utilizada para a identificação de espécies. Com isso, foi possível restringir seu emprego em produtos que entram em contato com alimentos, por exemplo (Silva, 2005). De acordo com Moreschi (2010) a identificação do sabor é utilizada de forma rara na identificação de uma madeira, sendo considerado apenas em situações raras para distinção entre espécies.

3.3.2.4 Desenho

Segundo Silva (2005, p. 40) “Desenho é o termo usado para descrever a aparência natural das faces da madeira, notadamente da face longitudinal do cerne [...]”. essa propriedade caracteriza as propriedades macroscópicas da madeira, como cerne, alborno. Os desenhos considerados agradáveis para o público são aqueles gerados por anormalidades da madeira (Moreschi, 2010). Além disso, o desenho da madeira possui relevância significativa na produção de lâminas, especialmente pela diversidade de cores e formas que apresenta. Essas características são valorizadas em aplicações ornamentais e na fabricação de painéis, móveis e divisórias (Silva, 2005).

3.3.2.5 Brilho

Esta propriedade refere-se à capacidade da madeira em refletir a luz que incide e é voltada principalmente para questões estéticas, uma vez que para a identificação e distinção de madeiras se torna irrelevante, ademais, o corte em que essa

propriedade pode ser mais notada é o longitudinal radial causado pelos raios (Moreschi, 2010).

3.3.2.6 Textura

O termo textura na madeira corresponde ao efeito visual e tátil resultante das dimensões, da distribuição e da proporção dos elementos estruturais do lenho, em que pode ser classificada em três categorias principais: grossa, fina e média. Nas angiospermas, a textura é determinada, sobretudo, pelos diâmetros dos vasos e pela largura dos raios, enquanto nas gimnospermas está relacionada à nitidez, espessura e regularidade dos anéis de crescimento (Moreschi, 2010). De acordo com Silva (2005) esta característica possui uma grande relevância para a aplicação final da madeira, interferindo na colagem e acabamento.

3.3.2.7 Grã

O termo grã refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore ou peça de madeira. Há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais em decorrência do processo de crescimento da árvore. Quando os tecidos axiais estão orientados paralelamente ao eixo principal do tronco tem-se a grã reta ou direita, situação ideal para posterior uso estrutural da madeira, proporcionando elevada resistência mecânica, fácil desdobro, processamento e secagem (Moreschi, 2010).

Já a grã irregular é aquela cujos elementos axiais apresentam variações de inclinação quanto ao eixo longitudinal do tronco. Podem ser do tipo: i) Grã espiral/torcida: é determinada pela orientação espiral dos elementos axiais constituintes da madeira em relação ao eixo do tronco. Acarreta a diminuição da resistência mecânica, deformações de secagem e dificuldade de se conseguir um bom acabamento superficial; ii) Grã revessa: os tecidos axiais da madeira caracterizada por este tipo de grã apresentam-se orientados em diversas direções. A resistência mecânica não é muito afetada, porém apresenta problemas durante a secagem e na trabalhabilidade. Sob o aspecto estético, produz desenhos muito atraentes; iii) Grã ondulada: neste tipo de grã, os elementos axiais alteram constantemente sua direção aparecendo como uma linha sinuosa regular. As consequências tecnológicas são praticamente as mesmas da grã revessa e iv) Grã inclinada, diagonal ou oblíqua: ocorre quando os elementos axiais fazem um desvio angular em relação ao eixo

longitudinal da árvore. Afeta significativamente as prop. tecnológicas da madeira: quanto maior o desvio, menor resistência mecânica e mais acentuada a ocorrência de deformações de secagem (Silva, 2005).

3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS

3.4.1.1 **Densidade**

A densidade da madeira é uma das propriedades físicas possíveis de se mensurar na madeira; é a medida de massa de “substância madeira” existente em determinado volume (dada em g/m^3). É considerada a propriedade mais importante de qualidade da madeira, pois resulta da integração das propriedades químicas e anatômicas do lenho. Assim, a densidade da madeira é uma consequência do arranjo, orientação, percentual e dimensões dos componentes anatômicos e químicos da madeira. A densidade está relacionada com a trabalhabilidade, retratibilidade, secagem, impregnabilidade e com as características mecânicas da madeira. Nos diversos estudos de qualidade da madeira, é comum a determinação da densidade básica e aparente da madeira, sendo que a aparente leva em consideração os espaços vazios presentes na madeira. Existem várias normas que padronizam a forma de execução dessa determinação. No Brasil é comum o uso da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 7190, 2022).

Os principais fatores que influenciam a densidade do lenho são o genótipo, índice de sítio, condições climáticas, localização geográfica, tratos silviculturais e, principalmente, a idade das árvores. O Brasil é um dos países que mais plantam floresta no mundo e a escolha do local do plantio é em função (entre outros fatores) das características edafoclimáticas da região.

Ainda, a densidade pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, entre árvores de uma mesma espécie e até mesmo dentro de diferentes partes de uma mesma árvore, na direção base-topo e medula-casca. Panshin e De Zeeuw (1980) explicam que o estudo desta variabilidade da densidade dentro da árvore é importante, uma vez que, sob o ponto de vista de utilização tecnológica da madeira, madeiras mais homogêneas são definidas como de melhor qualidade pois apresentam ausência de defeitos de secagem, baixa variação dimensional, alto rendimento no desdobro para usos da madeira como produto sólido e uso estrutural, conforme Pimenta *et al.* (2023).

3.4.1.2 Retratabilidade

A retratabilidade é tida como a variação dimensional de uma peça de madeira por meio da perda ou absorção de umidade existente nela, até que o equilíbrio com o ambiente seja atingido (Miranda; Yojo; Souza, 2023). De acordo com Asdrubali *et al.* (2017) compreender a retratabilidade da madeira é fundamental para a aplicação adequada das peças. Uma utilização incorreta pode resultar na exposição a tensões permanentes excessivas e variações dimensionais indesejadas, o que pode comprometer a integridade estrutural e a durabilidade do elemento.

3.4.1.3 Permeabilidade

Permeabilidade da madeira refere-se à sua capacidade de permitir a passagem de líquidos através de sua estrutura, que é influenciada por fatores como densidade e estrutura anatômica, e pode ser avaliada indiretamente por características físicas como resistência e densidade. Madeiras de menor densidade tendem a apresentar maior permeabilidade, por permitirem maior passagem de fluidos e menor resistência à perfuração, enquanto madeiras mais densas e duras apresentam menor permeabilidade devido à compactação das suas células (Silva, 2020).

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Conforme Miranda, Yojo e Souza (2023) a madeira apresenta uma resposta específica para cada solicitação mecânica. Assim, os principais fatores considerados em aplicações estruturais é resistência, em que é levado em consideração a máxima tensão que pode ser aplicada em um corpo até que ele atinja ruptura ou deformação, e a rigidez, na qual “[...] se determina a capacidade do material em sofrer deformação proporcional à aplicação da carga e retornar ao estado original” (Miranda; Yojo; Souza, 2023, p. 28).

Árvores que crescem em terrenos inclinados ou em áreas sujeitas a ventos intensos desenvolvem adaptações estruturais conhecidas como madeira de reação, com o objetivo de compensar os esforços mecânicos e manter a verticalidade do tronco. Essa resposta varia conforme o grupo botânico da espécie, em coníferas, forma-se a madeira de compressão, geralmente mais escura, devido ao aumento na concentração de lignina. Já nas folhosas, ocorre a formação da madeira de tração, com coloração mais clara, resultado da deposição adicional de celulose nas paredes celulares (Lyons, 2010).

3.6 RELAÇÃO ÁGUA-MADEIRA

Segundo Shirmohammadi *et al.* (2021), a madeira é um material higroscópico, ou seja, possui a capacidade de absorver e perder umidade em função das condições de temperatura e umidade relativa do ar. A absorção de umidade, a partir do estado seco em estufa, provoca variações dimensionais, caracterizadas pelo aumento de volume até o ponto de saturação das fibras, momento em que o inchaço cessa. Diferentemente de materiais isotrópicos, que se expandem de forma uniforme em todas as direções, a madeira apresenta comportamento anisotrópico, com maior variação dimensional na direção tangencial, seguida pela radial, e mínima alteração na direção longitudinal.

O comportamento higroscópico da madeira ocorre de forma variada ao longo dos planos de orientações, o que a torna um material anisotrópico, ou seja, apresenta diferentes taxas de contração nos sentidos tangencial, radial e longitudinal. A direção tangencial, por exemplo, pode apresentar até três vezes mais retração do que a radial, o que resulta em empenamentos e fendilhamentos em madeira de eucalipto, principalmente quando a secagem não é conduzida de forma adequada. O fator anisotrópico, que expressa essa relação entre os sentidos tangencial e radial, é utilizado para classificar a estabilidade dimensional das espécies, com isso o conhecimento das propriedades de contração da madeira é essencial para garantir a durabilidade e a qualidade do produto em sistemas construtivos e industriais que utilizam madeira como matéria-prima (Remade, 2001).

Um fator que está diretamente ligado com a relação discutida anteriormente é a retratibilidade, o qual deve ser considerado em aplicações estruturais e industriais, pois está diretamente relacionada à variação dimensional do material em função das mudanças no teor de umidade (Remade, 2001).

3.7 RELAÇÃO DA MADEIRA E FOGO

Vairo (2022, p. 45) afirma que “Quando submetida a elevadas temperaturas, a madeira inicia o processo de degradação térmica, liberando gases voláteis e calor a partir da ruptura das ligações de suas moléculas orgânicas[...]”. A degradação do material pode ocorrer por combustão ou por pirólise, que ocorre respectivamente na presença de oxigênio e na ausência deste.

De acordo com Drysdale (2011), as moléculas que constituem a madeira possuem diferentes temperaturas de degradação, uma vez que a hemicelulose, por exemplo, se degrada em uma faixa de 200 e 360 °C, a celulose em 240 e 350 °C e a lignina na faixa de 280 e 500 °C.

Anastácio (2010) menciona em seu trabalho que a madeira por ser um combustível sólido, como qualquer outro, geram gases que fazem o fogo se propagar, mas esse comportamento se relaciona de forma direta com as propriedades físicas da madeira. As propriedades como forma e tamanho da seção, densidade e teor de umidade interferem diretamente no processo de combustão.

Nas palavras de Anastácio (2010) e Calil, Lahr e Dias (2003), a madeira é um material com bom desempenho em situações de incêndio, por possuir baixa condutividade térmica, o que impede o aumento da temperatura de forma acelerada, além de evitar a dilatação de sua estrutura. A madeira é constituída principalmente de celulose e sua estrutura anatômica permite o aprisionamento de ar em seu interior funcionando como um sistema isolante. Durante a sua combustão, a madeira forma uma camada carbonizada em sua superfície, que atua como uma barreira isolante, que evita a transmissão de calor e progressão do fogo, embaixo dessa camada, desenvolve-se a camada de pirólise de 7 mm, que está parcialmente degradada denominada como seção útil, as camadas restantes permanecem frias e com suas propriedades mecânicas mantidas, assegurando resistência estrutural por mais tempo em comparação a outros materiais (Figura 6).

Além disso, de acordo com Vairo (2011), a camada de carvão que atua como isolante térmico e que protege o interior da peça a partir da sua formação e a queima do material ocorre de forma linear e constante ao longo do tempo. A degradação térmica evolui à medida que fissuras na camada de carvão surgem, com isso o interior do material é consumido e é formada uma nova camada de carbonização. Esse processo se repete a cada nova camada carbonizada formada, prolongando a proteção até que todo o elemento seja, de fato, consumido.

Figura 6 - Seção carbonizada de madeira



Fonte: Figueroa; Moraes, 2009.

Os autores Calil, Lahr e Dias (2003) afirmam que a madeira ao entrar em contato com o fogo não apresenta distorção quando o material está exposto a altas temperaturas como ocorre com o aço, impedindo a ruína do local.

Ao contrário da ideia difundida de que incêndios em casas de madeira são casos excepcionais, enquanto incêndios em alvenaria são vistos apenas como acidentes, a madeira, especialmente quando engenheirada e selecionada de forma adequada (com tratamentos químicos, compatíveis com as resinas de colagem, com eficiência estrutural e resistente a água), possui características que a tornam um material ecológico e estruturalmente eficiente. Essa tecnologia eleva o desempenho da madeira, tornando-a um elemento essencial para a industrialização da construção. A madeira engenheirada que representa uma inovação significativa no cenário da construção civil brasileira, desafia antigos preconceitos ligados ao uso da madeira como material construtivo (Martini, 2013).

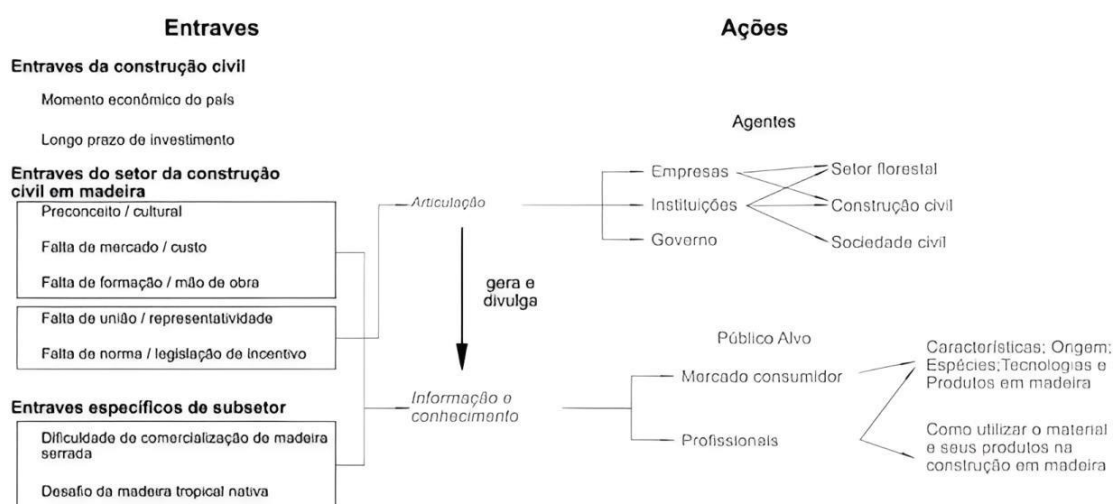
3.8 CONSTRUÇÃO CIVIL E USO DA MADEIRA

A madeira tem sido utilizada na construção civil desde muito tempo atrás, tornando-a, um dos materiais mais antigos utilizados (Campell, 2019; Concu, 2019). Até a Primeira Revolução Industrial, por volta de 1750, em que os materiais que eram provindos da natureza, como a madeira e as fibras naturais, eram os principais recursos empregados e utilizados pela sociedade. No entanto, com a industrialização, surgiram novas tecnologias construtivas baseadas principalmente em materiais

extraídos da crosta terrestre, como o ferro e os agregados minerais, que passaram a predominar nos projetos arquitetônicos e de engenharia (Campbell, 2019).

Completando a ideia, Concu (2019) destaca que o concreto e o aço monopolizaram o mercado, o que levou à desvalorização da madeira, essa realidade se deu por fatores culturais, ambientais e econômicas, além das limitações ligadas à sua origem natural e suas características mecânicas, as quais se relacionam diretamente com seu desempenho (Figura 7).

Figura 7 - Entraves e Ações para a Inserção da Madeira na Construção Civil



Fonte: Shigue, 2018.

De acordo com Shingue (2018) o Brasil é um país abundante em floresta, que facilitou a sua utilização na construção civil, em que as características variavam de acordo com cada região. Devido à esta realidade a madeira foi um material de vasta utilização na cultura indígena por todo território brasileiro.

Os autores Lemos (1993) e Shingue (2018) ainda acrescentam que a cultura de utilização de alvenaria e fundação com pedras foi uma herança estabelecida pelos portugueses que desenvolveram essa técnica devido as características e recursos disponíveis no país, popularização o uso da madeira no Brasil. Essa cultura se instaurou no Brasil e cada vez mais foi enraizada nos processos construtivos, ainda mais com o desenvolvimento de construtoras lideradas por imigrantes que trouxeram conhecimento construtivo em materiais industrializados de seus países de origem. O

resultado do desenvolvimento de urbanização do país, como ocorreu no século XX no processo de verticalização dos centros urbanos aqueceu a utilização de concreto em edificações.

No Brasil, segundo Vissotto Junior (2022), esse processo se intensificou no milagre econômico, em que as cidades passaram por um crescimento acelerado e os materiais como concreto e aço tiveram boa adesão no mercado, e a visão destes estava associada com a modernidade e eficiência, tanto que neste processo, no país, foi realizada a construção de Brasília e o desenvolvimento de estruturas da arquitetura de Oscar Niemeyer em concreto. A partir desta realidade, materiais e técnicas naturais foram desprezadas e tiveram seu uso destinado para fins de pouca relevância.

Apesar da madeira ter sido colocada em segundo plano, algumas serrarias que efetuavam o desdobro foram estabelecidas com padrões de desenvolvimento de produtos e maior complexidade, fazendo com que o material tivesse maior visibilidade e utilização na região Sul do Brasil e teve seu melhor desempenho por volta do final do século XIX (Shingue, 2018).

Atualmente na construção civil, a madeira é utilizada em sua maioria de forma temporária, como em fôrmas, andaimes e escoramentos, mas também vem sendo empregada de forma permanente, como em coberturas, esquadrias, forros, pisos e casas pré-fabricadas (Porto e Demarzo, 2017).

Nesse sentido, o Brasil ainda permanece na linha de construção convencional baseada na construção em concreto. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2024) “[...] uma proporção de 87,0% da população brasileira residia em domicílios com paredes externas de alvenaria”.

Apesar disso, a utilização da madeira vem sendo instaurada no Brasil por meio do desenvolvimento e implementação da madeira engenheirada (Agência Gov, 2024). De acordo com SENAI-PR (2025) com o desenvolvimento e regulamentação de normas traz como consequência o crescimento da aplicação do material e mudança da ideia de construção.

3.9 FLORESTAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2025) a construção civil representa 5% da cadeia produtiva florestal no PIB do Brasil. De acordo com o *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (2024) o mundo possui 32% da superfície terrestre coberta por florestas tanto de reflorestamento quanto nativas, que segundo Lyons (2010) podem ser destinadas à construção, na produção de papel ou combustível.

Apesar do avanço dos materiais industrializados como concreto e aço, a madeira manteve sua relevância no setor de construção. De acordo com o WWF-Brasil (2011), o Estado de São Paulo consome 15% da madeira proveniente da Amazônia em que mais da metade desse volume é destinado à construção civil. Um levantamento realizado com seis construtoras participantes de um programa entre 2009 e 2010 apontou o consumo total de 17.997,07 m³ de madeira, dos quais 79,74% (14.535,34 m³) eram provenientes de floresta plantada com espécies como pinus e eucalipto, e 19,23% (3.461,73 m³) de madeira tropical extraída da floresta Amazônica. Esses dados refletem uma tendência já consolidada no setor, sendo a substituição de madeira nativa por madeira de reflorestamento, que possui como vantagens um menor custo agregado, menor custo em seu transporte e uma alternativa com menor entraves legais.

No entanto, é fundamental verificar a origem dessas madeiras, pois seu cultivo frequentemente envolve o uso de insumos químicos que, se aplicados de forma indiscriminada, podem gerar impactos negativos à biodiversidade, aos rios e lençóis freáticos. Além disso, a exploração ilegal de madeira gera impactos em diversos âmbitos, como na implicação ambiental, que proporciona uma ocupação do local desordenada, sociais, que estimula a corrupção, práticas de violência, por fim no âmbito econômico em que impedem o desenvolvimento de empreendimentos sérios (WWF Brasil; Sinduscon-SP, 2011, p.16).

Um ponto muito positivo para o Brasil é que ele se caracteriza como um país florestal, em que segundo Punhagui (2014) possui uma produtividade em torno de 40 a 41 m³/ha.ano, o que coloca as florestas plantadas do Brasil entre as mais produtivas mundialmente.

3.10 MADEIRA ENGENHEIRADA

O emprego da madeira como material construtivo passou por uma evolução marcante ao longo das últimas décadas. Pesquisas desenvolvidas em diferentes países comprovam que edificações inteiramente estruturadas em madeira apresentam elevados padrões de segurança (Asdrubali *et al.*, 2017). Com o avanço tecnológico e aprimoramento de processos, a madeira engenheirada foi desenvolvida e foi uma das grandes responsáveis pela volta da utilização da madeira na construção civil até mesmo em países onde seu uso era escasso, devido ao seu alto desempenho e pela sua origem industrial, que permite maior controle de qualidade e padronização (Concu, 2019).

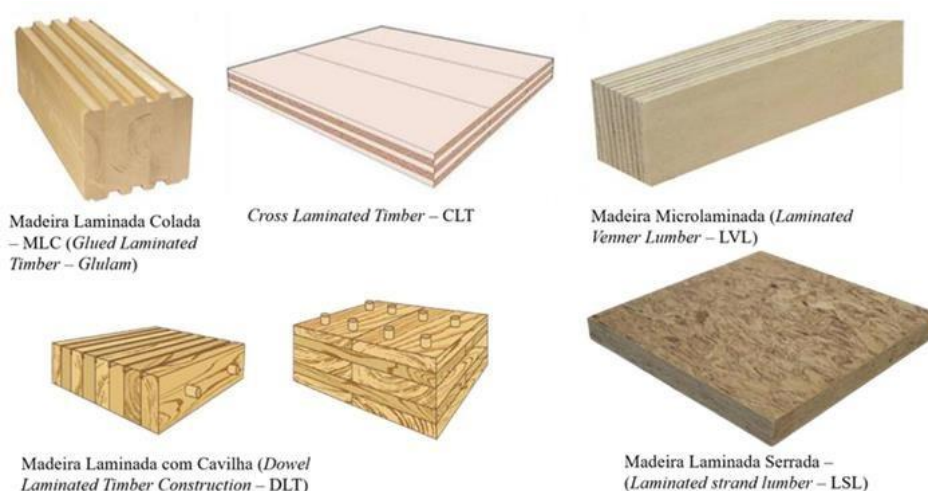
Historicamente, de acordo com o manual formulado pelo IPT (2003), os principais centros consumidores de madeira serrada na construção civil, localizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, abasteceram-se com espécies nativas amplamente exploradas nas florestas dessas regiões. Com o esgotamento dessas reservas, o fornecimento de madeira passou a depender principalmente da Região Amazônica. Paralelamente, as madeiras de reflorestamento, especialmente o pinus (*Pinus spp.*) e o eucalipto (*Eucalyptus spp.*), cultivadas nas mesmas regiões, passaram a ser amplamente utilizadas na construção habitacional.

Completando esta ideia, com o passar do tempo, o custo da madeira maciça de grandes dimensões aumentou significativamente e o avanço tecnológico possibilitou o desenvolvimento de novos painéis de vedação e a introdução de produtos lamelados de madeira, que são denominados como madeira engenheirada, que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado (Almeida *et al.*, 2025). Nesse contexto, torna-se essencial compreender o que caracteriza a madeira engenheirada e quais são seus diferenciais técnicos.

Segundo Olga (2023), na atualidade, a madeira engenheirada tem ganhado cada vez mais visibilidade, o que tem impulsionado o crescimento de sua produção no cenário brasileiro. Esse avanço se deve à utilização de matéria-prima proveniente de florestas plantadas, localizadas próximas aos centros consumidores e com alta produtividade, aliada à adoção de processos automatizados de projeto, fabricação e usinagem, o que tem tornado a madeira engenheirada uma alternativa estrutural competitiva frente às estruturas metálicas e ao concreto armado.

Segundo Oliveira (2023) a madeira engenheirada é um produto que combina a resistência natural da madeira com o desenvolvimento da engenharia na atualidade, uma vez que sua fabricação se dá por meio da utilização de adesivos, colas, partículas, fibras, lâminas ou placas que integradas configuram um produto compósito. Atualmente, os sistemas construtivos em madeira engenheirada representam uma importante transformação na construção civil, destacando-se pelo caráter industrial e pela diversidade de produtos derivados da madeira maciça (Figura 8).

Figura 8 - Componentes Construtivos em madeira



Fonte: Almeida, Silva, Moura (2023).

Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (2003), a madeira engenheirada ou também chamada de “madeira estrutural composta” trata-se de produtos desenvolvidos com madeira de reflorestamento, onde são utilizados na fabricação de vigas lameladas, vigas coladas e painéis, possibilitando maior resistência, durabilidade e aproveitamento sustentável da madeira. Esses produtos vêm ganhando espaço no mercado por oferecerem alternativas eficientes e ecologicamente responsáveis para aplicações estruturais, substituindo a madeira de origem nativa e os materiais convencionais de construção.

Para Aflalo (2023), o sistema construtivo com madeira engenheirada possui baixo impacto ambiental pela sua performance eficiente. Suas características incluem a redução drástica na emissão de gás carbônico, o consumo de energia minimizado

e baixa produção de rejeitos e notável acessibilidade nos âmbitos econômicos e social.

Desde o início do século XX, essa tecnologia passou por diversas inovações, começando com a popularização de sistemas como a Madeira Lamelada Colada (*Glulam*) e a madeira compensada, que abriram caminho para produtos como o OSB (*Oriented Strand Board*) e a Madeira Microlaminada (LVL) na década de 1960. Esses materiais trouxeram maior eficiência, resistência e possibilidade de pré-fabricação, impulsionando a expansão do setor (Almeida; Silva; Moura, 2023).

Nos anos 1990, a inovação mais significativa foi o desenvolvimento do Cross Laminated Timber (CLT), conhecido como MLCC em português, que obteve reconhecimento internacional após sua patente francesa e sua produção industrial na Áustria, atingindo uma competitividade que o coloca em pé de igualdade com sistemas tradicionais de concreto e aço (Samborn, 2019). Outros materiais, como a Madeira Laminada Serrada (LSL) e a Madeira Lamelada com Cavilha (DLT), também fazem parte desse universo de soluções inovadoras, ampliando as possibilidades construtivas e contribuindo para a adoção de uma arquitetura mais sustentável, eficiente e adaptável às exigências atuais (Almeida; Silva; Moura, 2023).

Algumas das siglas que compõem o mundo da madeira engenheirada são MLC (Figura 9), MLCC, LVL, DLT. O crescente surgimento das siglas evidencia a rápida evolução tecnológica no campo da madeira engenheirada, refletindo o desenvolvimento contínuo de soluções estruturais adaptadas às diferentes demandas da construção civil contemporânea. Dentre os citados anteriormente, o primeiro produto engenheirado desenvolvido foi o MLC (Madeira Lamelada Colada) ou *glulam*, utilizado na década de quarenta na Europa, onde seu uso foi difundido após o desenvolvimento de uma cola à prova d'água, nomeada como phenol-resorcinol (PRF) caracterizado pelo seu baixo teor de toxicidade e baixo impacto ambiental.

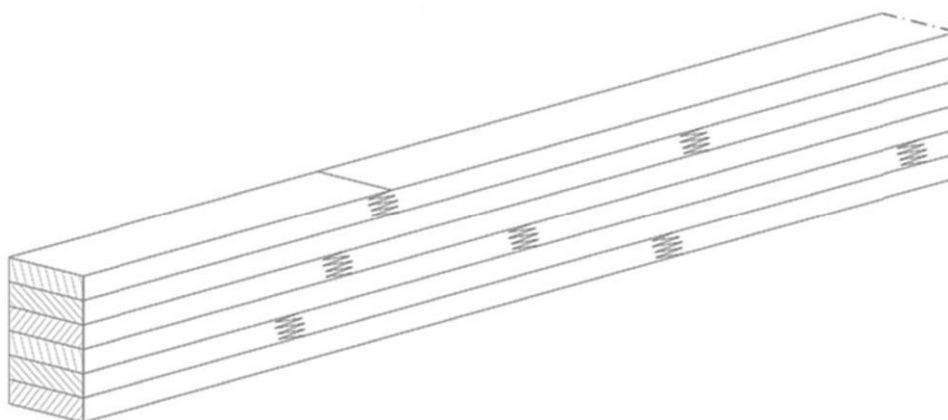
O MLC é uma peça em que as lamelas são unidas por *finger joint* (emendas de topo tipo dentadas – Figura 10) e suas fibras são dispostas no mesmo sentido, o que garante alta resistência à compressão e flexão, tornando-se indicada para utilização em pilares, vigas, pérgolas e outros arranjos com transferência de carga, além disso, esse tipo de montagem permite o desenvolvimento de peças de grande comprimento e seções delgadas (Aflalo, 2023).

Figura 9 - Configuração de viga de MLC



Fonte: Autor, 2025.

Figura 10 – Esquema Finger Joint na madeira lamelada colada

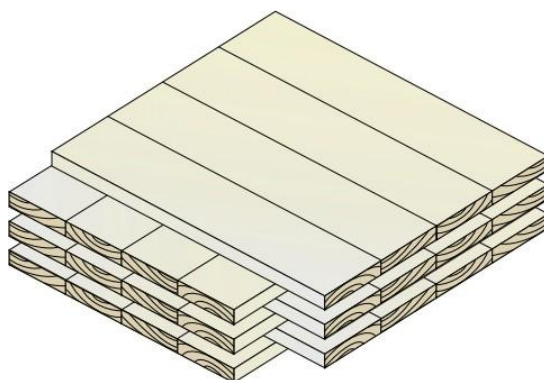


Fonte: Asdrubali *et al.*, 2017.

Outro tipo de madeira engenheirada é o CLT (*Cross Laminated Timber* – Figura 11) ou Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) que teve sua primeira utilização no início dos anos noventa, produto o qual passou a ter grande visibilidade pelos investidores, principalmente após o Protocolo de Kyoto, em que a estocagem de CO₂ foi sendo colocada em pauta e com isso se iniciou o uso intensivo da madeira. O

MLCC é constituído de lamelas de madeira, que podem ter grandes dimensões como 3 metros por 16 metros dependendo do projeto, as quais são dispostas de forma perpendicular uma das outras, sempre em números ímpares e coladas com adesivo de poliuretano (PU) e prensadas. Sua característica permite uma melhor estabilidade na rigidez estrutural em todas as direções garantindo a distribuição homogênea das forças aplicadas (Aflalo, 2023).

Figura 11 - Configuração do painel de CLT



Fonte: Karacabeuli, Douglas (2013).

A madeira engenheirada, por mais que seja um material estudado desde o século XX ainda possui certa resistência por parte dos consumidores brasileiros e isso se deve, principalmente, ao desconhecimento sobre seu desempenho e à falta de confiança em relação às inovações, fazendo com que muitos ainda optem pelos sistemas convencionais. O preconceito em relação às inovações tecnológicas na construção civil limita não apenas a adoção de novas soluções construtivas, mas também a abertura de oportunidades de trabalho e o desenvolvimento de novas frentes no setor (Almeida *et al.*, 2025).

A madeira microlaminada ou *Laminated Veneer Lumber* (LVL) compõe elementos estruturais a partir de lâminas de madeira de espessura entre 2,5 e 3,2 mm as quais passam por uma seleção rigorosa e são sobrepostas paralelamente ao sentido longitudinal da peça (Figura 12), que possibilita a execução de peças maiores do que as de madeira convencional (Valentino, 2022).

Figura 12 - Madeira microlaminada – LVL



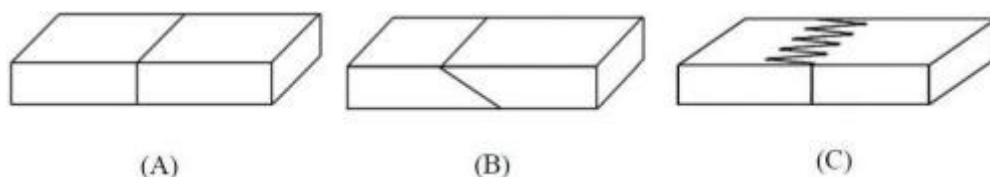
Fonte: The constructor, [(2025)].

De acordo com Berriel (2009) construções de vigas e pilares os quais podem ser feitos de MLC e CLT que possuem um sistema de pré-fabricação permite uma maior otimização do processo de construção. Além disso, as madeiras engenheiradas oferecem a vantagem de superar uma limitação do sistema de estrutura independente em edificações de madeira, ou seja, que os elementos estruturais (pilares, vigas) são os responsáveis por sustentar a edificação, sem depender das paredes para dar estabilidade, o que exige peças de grandes dimensões que são raras e onerosas quando em madeira maciça. Com soluções como vigas e pilares laminados colados, torna-se possível produzir elementos estruturais de grandes tamanhos, garantindo eficiência construtiva, redução de custos e maior flexibilidade de projeto.

3.11 MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC) COMO UMA ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Pauli, Azambuja e Oliveira (2021), o MLC pode ser utilizado para diversos fins, como componentes de estruturas, sendo vigas, pilares e coberturas, que possibilita a construção de estruturas de grande porte. Em que suas lâminas são unidas por emendas longitudinais (Figura 13). O MLC é composto por lâminas de madeira serrada, coladas com adesivo certificado para posterior uso estrutural e à prova d'água, dispostas de tal forma que a orientação das fibras sejam paralelas ao eixo longitudinal da peça final. É um material de alta resistência mecânica, versátil e resistente que permite ser usado em construções de diversas formas, dimensões e seção variável.

Figura 13 - Tipos de emendas longitudinais



Fonte: Azambuja, 2006

Legenda: Emenda de topo (A); Emenda biselada (B); Emenda dentada (C)

No Brasil a primeira empresa fabricante de madeira lamelada colada foi fundada em 1934 em Curitiba - Paraná, por dois irmãos alemães. Alguns anos depois, em 1977 e em 1981, surgiram novas empresas neste ramo, ainda no estado do Paraná, em que ambos os empreendimentos tinham como principal matéria prima o *Pinus* e o *Eucalyptus*. Apesar disso, nos anos 80, a indústria de fabricação de MLC não teve o desenvolvimento esperado devido à falta de divulgação do produto e pela ausência de desenvolvimento de normas voltadas para esta vertente. Apesar disso, surge neste mesmo período a Ita Construtora, que se caracteriza como uma empresa consagrada neste ramo até os dias atuais (Pauli, Azambuja e Oliveira, 2021).

De acordo com Pauli, Azambuja e Oliveira (2021) um dos principais motivos para a pouca utilização de MLC no Brasil é dado pelos mesmos fatores da pouca utilização da madeira na construção civil, sendo eles o alto custo monetário agregado se comparado aos produtos tradicionais (concreto e aço) e a baixa demanda. Com isso, as construções que surgem e são desenvolvidas no país são de alto padrão. De acordo com os autores, para reduzir esta problemática seria necessário ter um vasto investimento na industrialização e a produção em uma grande escala, capacitar mão de obra, por meio da aplicação de cursos tanto técnicos quanto superiores, para garantir maior domínio na montagem e desenvolvimento desses projetos, já que este fator é tido como desvantagem se comparado a madeira serrada.

A vantagem do MLC é que, pelo fato de sua composição ser obtida por meio de lâminas, há a possibilidade de se ter uma classificação de defeitos muito mais preciso se comparado com a madeira comum, trazendo maior confiabilidade e qualidade para o produto. Além disso, o MLC possui um baixo peso específico se comparado aos materiais tradicionais, o que gera uma economia na fundação das obras (Pauli, Azambuja e Oliveira, 2021).

De acordo com Leite *et al.* (2021) um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias brasileiras é o encarecimento do produto ou até mesmo o atraso de obras, especialmente devido à necessidade de importação da cola para a fabricação do MLC, uma vez que o país ainda não possui um produto nacional com qualidade que permite ter competitividade de mercado. Os autores ainda discutem sobre a questão da falta de mão de obra qualificada não apenas para a montagem das obras como também os desenvolvedores dela, como engenheiros e arquitetos, que por fim, uma vez que a falta de conhecimento sobre as características do material pode acarretar falhas de projeto e compatibilidade. Em termos de competitividade, quando comparados a materiais como concreto e aço, o uso do MLC ainda apresenta custo superior, variando entre 10% e 15%. No entanto, a escolha deste tipo de estrutura se justifica por atributos estéticos, pelo conforto e principalmente por benefícios relacionados à sustentabilidade.

Ainda, segundo Pauli, Azambuja e Oliveira (2021) o MLC tem como vantagem a sua capacidade de vencer grandes vãos, além de apresentar alta resistência mecânica a tração, compressão e flexão, pela junção da cola e disposição correta das lamelas. Além disso, a secagem deste material é mais rápida se comparada a madeira comum, por ter um menor volume de material, com isso o material se torna menos suscetível às mudanças dimensionais devido a trabalhabilidade. O MLC, além de sua eficiência, oferece benefícios logísticos e financeiros, em que garante um preço final fixo e promove uma economia significativa de tempo no projeto. Na questão operacional, o material proporciona facilidade e rapidez no transporte e na montagem das estruturas, bem como a diminuição de resíduos e maior limpeza em todas as etapas de produção e na obra e uma precisão dimensional rigorosa.

As perspectivas de aumento do produto no Brasil estão diretamente relacionadas com o aumento dos investimentos na formação e capacitação dos profissionais no setor da construção civil, além das melhorias das normas nacionais, pesquisas sobre o MLC e divulgação dele. Com isso, ocorrerá o aumento da demanda e conseqüentemente a diminuição do custo (Pauli, Azambuja e Oliveira, 2021).

Outra vantagem da estrutura em MLC é a diminuição da necessidade de sua manutenção se feitas em ambientes fora de fatores de intemperismo. Além disso, pelo Brasil ser um país com vasta área de reflorestamento, o material possui características

sustentáveis e constitui uma construção ecologicamente correta, onde há possibilidade de maior incremento da utilização deste tipo de madeira engenheirada, acarretando a diminuição da precificação pelo aumento da oferta e procura (Freitas e Mazzardo, 2021).

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do MLC

Vantagens	Desvantagens
Permite estruturas de grande porte e com geometrias variadas, incluindo curvas e formas livres	Requer maquinário especializado e mão de obra qualificada para a produção dos elementos estruturais
Utiliza madeira de reflorestamento, contribuindo para a preservação das florestas nativas	Os elementos são fabricados em ambientes industriais, o que pode aumentar os custos de transporte até o canteiro de obras
Possui peso reduzido, comparando-se com outros materiais, facilitando o transporte, a montagem e exigindo fundações menores	O processo produtivo gera perdas de material e adesivo, que pode variar de 13% a 50%
As lâminas finas favorecem a secagem uniforme e reduzem deformações	O custo dos adesivos varia conforme o tipo de exposição da estrutura, sendo mais alto para ambientes externos
Apresenta boa resistência à tração e compressão, dispensando o uso de armaduras metálicas	Necessita de controle rigoroso de qualidade na fabricação, o que encarece o processo
Suporta os choques e equações químicas agressivas	
Requer baixo consumo energético em sua produção, em comparação a materiais como aço e concreto	
Exige pouca manutenção, em ambientes internos	
Boa aparência não necessitando acabamento	
Possui pré-fabricação que reduz o tempo de execução e mantém o canteiro mais limpo	

Fonte: Timponi, 2017

3.12 WOOD FRAME

Segundo Molina e Calil (2010, p. 144):

O *wood frame* para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e contra o fogo.

Além disso, esse sistema construtivo permitiu um alto controle dos custos ainda na fase de projeto, já que é altamente industrializado, proporcionando maior precisão no planejamento e redução de desperdícios, constituindo uma solução leve, de rápida execução e capaz de suportar edificações com até cinco pavimentos (Molina; Calil, 2010).

De acordo com Stüpp, Souza e Schweitzer (2018) o sistema construtivo conhecido como *wood frame* ou *Platform Framing* é amplamente utilizado em diversos países, como Estados Unidos, Canadá, Alemanha, França, Reino Unido, Austrália, Japão e Chile. Essa técnica consiste na utilização de paredes estruturais formadas por montantes de madeira que suportam as cargas provenientes da cobertura e dos pavimentos superiores, distribuindo-as de maneira eficiente pelas fundações. Ainda, esse sistema permite a fabricação de grande parte de seus componentes na indústria, possibilitando a produção de painéis e elementos estruturais de forma padronizada, o que favorece a rapidez na execução da obra, redução de desperdícios e maior controle de qualidade. Posteriormente, as estruturas produzidas industrialmente são transportadas até o local da construção, onde são montadas de forma rápida e eficiente, contribuindo para a agilidade do processo construtivo.

Para garantir a segurança e a conformidade com as especificações técnicas, o projeto estrutural do *wood frame* deve ser elaborado por profissionais habilitados e seguir as normas técnicas brasileiras, como a NBR (2022), que define as classes de resistência e critérios de dimensionamento da madeira. Além disso, o cálculo de cargas atuantes, incluindo ações do vento e cargas permanentes, deve estar de acordo com as normas brasileiras específicas, assegurando o bom desempenho estrutural da edificação (Stüpp; Souza; Schweitzer, 2018).

O que torna esse tipo de construção mais onerosa, é a necessidade de uma mão de obra especializada e o custo dos materiais utilizados, que são supridos pela

otimização de gestão, conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2 com uma comparação entre *wood frame* e alvenaria. Essa ainda é uma realidade brasileira visto que ainda é um método que está sendo implementado no Brasil o que faz com que o número de edificações construídas com essa tecnologia seja relativamente baixo, dificultando a consolidação de uma cadeia produtiva eficiente e economicamente competitiva (Molina; Calil, 2010).

Tabela 1 - Orçamento de uma casa de 52,4 m² feita de *wood frame*

Tipo	Custo (Reais)
Projeto Completo	R\$ 5.656,11
Mão de Obra	R\$ 9.432,00
Material	R\$ 35.332,00
Total	R\$ 50.420,11

Fonte: Lopes, 2013

Tabela 2 - Orçamento de uma casa de 52,4 m² feita de alvenaria

Tipo	Custo (Reais)
Projeto Completo	R\$ 5.656,11
Mão de Obra	R\$ 15.720,00
Material	R\$ 39.068,55
Total	R\$ 60.444,66

Fonte: Lopes, 2013

3.13 DURABILIDADE DA MADEIRA ENGENHEIRADA

A durabilidade da madeira engenheirada em aplicações estruturais e de acabamento depende de diversos fatores que devem ser considerados durante sua seleção, utilização e manutenção. Entre esses fatores, destaca-se a qualidade dos adesivos utilizados, cuja resistência e compatibilidade com o material original influenciam diretamente na longevidade do produto. Além disso, o tratamento prévio da madeira, incluindo processos de preservação e impermeabilização, é fundamental para aumentar sua resistência a agentes biológicos, como fungos, insetos e outras formas de deterioração (Lyons, 2010).

As condições ambientais, como umidade, temperatura e exposição contínua a elementos atmosféricos, também desempenham papel crucial, devendo ser avaliadas

para garantir a integridade do material ao longo do tempo. Finalmente, a correta execução de processos de instalação e a manutenção periódica contribuem para ampliar a vida útil da madeira engenheirada, assegurando seu desempenho correto e duradouro em projetos construtivos (Lyons, 2010).

3.14 VALOR DA MADEIRA ENGENHEIRADA

Os custos finais estabelecidos em uma obra, segundo Oliveira (2023), vão muito além do desenho do edifício, em que características como localização e logística influenciam de forma direta no valor final aplicado no desenvolvimento daquela obra, o que torna inadequada a lógica de estimar custos apenas com base na área construída.

A fabricação da madeira engenheirada é integralmente industrializada, o que garante uma maior precisão das peças fabricadas e proporciona um ganho de tempo no processo global na construção. Entretanto, pelo fato deste tipo de tecnologia ser altamente industrializado, para se obter a sua utilização de forma plena é necessário que o projeto seja alinhado às especificidades do seu processo construtivo, em que desde a concepção, é fundamental considerar aspectos como as perdas decorrentes do corte e usinagem dos painéis, a logística de transporte, o layout do canteiro de obras, o processo de montagem e o desempenho final da edificação. Com isso, o desenvolvimento de um projeto incompatível com as premissas básicas dessa tecnologia tende a resultar em aumento significativo do custo da estrutura, além de comprometer a eficiência e a satisfação dos usuários (Oliveira, 2023).

De acordo com Cover (2020), construções feitas em madeira engenheirada podem ter custos diretos mais altos devido à sua produção e instalação, mas em contrapartida esses custos são compensados pela redução nos custos indiretos, como o tempo de obra, exigência de um menor número de funcionários, diminuindo proporcionalmente as ocorrências de acidentes de trabalho, redução da necessidade de acabamento, conferindo uma aparência natural e sofisticada, ou seja, fatores cruciais para a competitividade econômica em projetos. Fazendo uma comparação entre concreto, o qual possui custos mais baixos em projetos de maior altura (vários pavimentos) devido às eficiências de escala e materiais tradicionais, a madeira

oferece vantagens em agilidade, sustentabilidade e menor peso estrutural, facilitando construções em ambientes urbanos com restrições de espaço e solos complicados.

Esses pontos, que vão além do aspecto financeiro, também são defendidos por Kremer e Ritchie (2018), que destacam as vantagens do uso de tecnologias em madeira maciça no contexto de melhorias na produtividade, sustentabilidade e eficiência na construção. Tais benefícios tornam-se evidentes quando se comparam edificações em madeira a construções com outros materiais, como o concreto, uma vez que a madeira permite edificações mais altas com fundações mais leves, viabilizando projetos anteriormente inviáveis e expandindo significativamente as possibilidades de mercado, além de oferecer uma economia de 30% no tempo de construção. Assim, fica claro que uma simples comparação de custos entre materiais, isoladamente, é um equívoco que ignora o potencial sistêmico da madeira na construção.

Os autores Kremer e Ritchie (2018) justificam que os altos valores atribuídos a construções em madeira estão diretamente relacionados com o desenvolvimento tecnológico e principalmente ao volume escasso de fornecedores do produto, caracterizando uma capacidade de volume de produção ainda limitada resultando em uma construção mais cara se comparado a construções tradicionais. Porém, o cenário do desenvolvimento e aplicação da madeira na construção civil tende a se desenvolver futuramente. Além disso, defendem que “custo” e “valor” para esse tipo de construção possuem diferentes significados.

Quadro 2 - Valor Percebido pelos Stakeholders com o Uso da Construção em Madeira Engenheirada

Stakeholde	Valor Percebido
Incorporador Imobiliário	Oportunidades imobiliárias acessíveis e reinventadas — cidade acima da cidade, terrenos antes inadequados para desenvolvimento agora são viáveis, diferenciação no mercado, menor duração da construção resultando em redução de custos de juros e exposição ao risco.
Arquiteto	Novo método/material de construção, sustentabilidade, expressão arquitetônica, estar à frente da curva de inovação no setor, redução de variações, oportunidade de otimizar projetos em termos de custo e operação.

Engenheiros	Compreensão da nova tecnologia, capacidade de expandir limites e fronteiras, novas possibilidades na engenharia.
Construtor	Economia de programa, vantagem competitiva, gestão de riscos, menos incidentes com primeiros socorros, redução de custos, economia de mão de obra, menor necessidade de içamento.
Construtor/Trabalhador	Redução de mão de obra, facilidade de montagem, tempos de construção mais rápidos, conclusão de projetos com trabalhadores menos qualificados, aumento da segurança no canteiro de obras.
Poder Público / Prefeitura	Menor duração e menor impacto de perturbação para vizinhos, trânsito e autoridades.
Usuário Final	Conforto, redução de custos energéticos, investimento com consciência social, sensação de lar, menor necessidade de manutenção.

Fonte: Kremer e Ritchie, 2018.

Para se comparar uma construção em madeira engenheirada com outros materiais, Cazemier (2017) trouxe um estudo o qual comparava um edifício de CLT com um de concreto e aço. Neste caso, embora o custo direto da construção com CLT seja ligeiramente superior, cerca de 2,64% a mais, a redução expressiva no tempo de execução, que passa de 21 para 15 meses, gera economia considerável nos custos financeiros, como juros sobre financiamento e despesas de manutenção do terreno. Essa antecipação na conclusão do projeto permite que os investidores recuperem seu capital de forma mais rápida, aumentando a eficiência do retorno financeiro.

Em um estudo comparativo de edifícios residenciais na Austrália, a adoção da CLT reduziu os custos com juros em aproximadamente 24% e os custos de posse do terreno em quase 18%, o que elevou a Taxa Interna de Retorno (*Equity IRR*) de 33,46% para 36,58%, demonstrando uma maior rentabilidade anualizada, mesmo com um lucro absoluto ligeiramente inferior.

De acordo com Lago, Calil Neto e Molina (2025), a madeira lamelada pregada (MLP) é o produto de madeira engenheirada com menor custo de fabricação, sendo empregada em sistemas de laje. Além disso, pode ser utilizada em fechamentos e apresenta potencial para atender aos requisitos do painel misto estruturado (PME), agregando valor estético enquanto mantém a competitividade financeira.

3.15 ESPECIFICAÇÕES E PARTICULARIDADES DA MADEIRA

De acordo com Ilg (2021), trabalhar com madeira na construção exige maior criatividade para realizar a junção entre suas partes, especialmente quando comparado às técnicas construtivas tradicionais, cujo conhecimento já é amplamente difundido. Além disso, requer um detalhamento mais cuidadoso e especificação precisa das junções, garantindo que sejam executadas da melhor forma possível. Bittencourt (1995) afirma que as ligações em madeira devem ter mais cautela principalmente se o produto for exposto às intemperes ou ação da água.

Bittencourt (1995) diz que, embora a madeira seja um material de simples manuseio, é fundamental reconhecer que suas características únicas demandam um cuidado e abordagem específicas no processo de trabalho e beneficiamento. Além disso, Ilg (2021) afirma que pelo fato de a madeira ser um material orgânico e poroso, o material absorve água e umidade o que o torna suscetível a agentes deterioradores, como agentes xilófagos e, devido à esta característica se faz necessário a existência de proteção feita de materiais que se relacionam bem com a umidade como cimento no solo e no topo de construções em madeira, enfatizando como solução a construção mista, ou seja, alvenaria e madeira juntos. Essa operação se torna ainda mais necessária no Brasil, que se caracteriza por um país tropical e com isso as condições edafoclimáticas são um aspecto relevante a se considerar.

A longevidade de uma construção de madeira é determinada por fatores como detalhamento e desenvolvimento do projeto, como, por exemplo, a implementação de elementos construtivos que protejam as peças do contato com a água e o solo, por meio do desenvolvimento correto da gestão da água no terreno e utilização de pingadeiras para desvio de fluxos (Berriel, 2009).

A madeira, diferentemente de metais os quais exige centésimos ou milésimos de milímetros na usinagem, a madeira exige apenas décimos de milímetros, que

embora necessite de precisão não possui um nível extremamente rigoroso (Bittencourt, 1995). Conforme Anastácio (2010), a madeira é um material que possui características específicas em seu comportamento, com afinidade à agentes biológicos que podem atacar seus constituintes químicos e por isso necessita de tratamento para a sua preservação. Contudo, de acordo com os autores Calil, Lahr e Dias (2003), mesma a madeira estando sujeita ao apodrecimento e ao ataque de organismos xilófagos em certas circunstâncias, com o tratamento correto e manutenção, sua durabilidade é prolongada, permitindo seu uso em coberturas, passarelas, estruturas de edificações, pisos e esquadrias (Cardoso, 2015).

De acordo com Casagrande, Pieniak e Bombonato (2014), a madeira possui características únicas e por isso exige cuidados como qualquer outro material. Em uma obra executada em madeira pontos de existência de água e com alta umidade devem ser evitados, como em banheiros e há a necessidade de aplicação de impermeabilizantes nos apoios e encaixes para evitar contato com o solo, além de ser necessário ter um espaço livre para a ventilação para auxiliar na circulação de ar e reduzir os riscos de deterioração do material. Ademais, é de suma importância selecionar as dimensões compatíveis com a disponibilidade do mercado e as espécies de melhor aplicabilidade. Outro ponto citado é o preparo do solo com tratamento químico ao redor da edificação, evitando a existência de xilófagos. Os autores ainda colocam em pauta a questão de manutenção, as quais devem ser feitas em média a cada dois anos, e mais especificamente a construções com alta exposição solar, deve ter cuidados sempre que houver necessidade estética ou funcional.

3.16 POTENCIALIDADES E DESAFIOS DE MATERIAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os produtos de madeira ou à base de madeira estão ganhando cada vez mais visibilidade dentro da construção civil devido aos seus benefícios ambientais, sustentáveis, possibilidade de pré-fabricação, menores custos de construção e flexibilidade no desenvolvimento do planejamento e efetivação da construção (Shirmohammadi *et al.*, 2021). Além disso, Porto e Demarzo (2017) defendem a ideia de que pode ser encontrada em todas as etapas de processamento da madeira diversos indicadores de sustentabilidade, como geração de energia.

De acordo com Latteke e Lehmann (2007), as construções em madeira possuem uma grande vantagem relacionada à economia de energia, uma vez que o material se caracteriza como um excelente isolante térmico, permitindo que a temperatura interna do ambiente permaneça confortável tanto em climas frios quanto em climas quentes, reduzindo assim o consumo de energia para aquecimento e refrigeração, absorvendo cerca de 40 vezes menos calor que uma construção em alvenaria (Molina; Calil, 2010). Além disso, o uso da madeira contribui para a sustentabilidade ambiental, pois é uma fonte renovável que, durante seu crescimento, captura e armazena CO₂, ajudando a mitigar os efeitos da mudança climática.

Outro ponto positivo é o baixo peso estrutural da madeira, o que facilita a pré-fabricação, diminui os custos, que de acordo com Ihg (2021) torna o transporte mais barato e mais rápido o processo de construção no canteiro de obra. Sua versatilidade também permite criar diferentes formas e soluções arquitetônicas, tanto para construções tradicionais quanto para projetos inovadores, incluindo edifícios de vários pavimentos em áreas urbanas. Os avanços tecnológicos na fabricação de elementos de madeira, como painéis de alta estabilidade e componentes pré-fabricados, ampliam ainda mais suas possibilidades de uso, promovendo construções sustentáveis, eficientes e de alta performance (Latteke; Lehmann, 2007).

Seguindo a mesma ideia, Shirmohammadi *et al.* (2021) dizem que os produtos advindos de madeira oferecem vantagens relacionadas à sustentabilidade, devido ao seu ciclo de vida e por se tratar de um material renovável. Sistemas construtivos de madeira e compósitos de madeira possuem também como benefício a baixa energia incorporada, boas propriedades isolantes, além do processo de pré-fabricação que contribui para o desenvolvimento de projetos mais eficientes, com redução de custos e uma maior flexibilidade tanto no planejamento quanto na execução da obra como consequência.

O setor de florestas plantadas adota um modelo produtivo sustentável e integrado, no qual o cultivo, o manejo e o reaproveitamento dos recursos seguem uma lógica circular. Atualmente, são mais de 10 milhões de hectares dedicados a esse tipo de cultivo, com foco na recuperação de áreas degradadas e pastagens improdutivas. Além das áreas cultivadas, o setor também desempenha um papel importante na conservação ambiental, preservando cerca de 6,91 milhões de hectares de vegetação

nativa. Somando as áreas conservadas e plantadas, estima-se que o setor seja responsável por um estoque de aproximadamente 4,92 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq), com a execução do plantio diário de milhões de árvores, o setor contribui significativamente para a remoção de carbono da atmosfera, promovendo benefícios ambientais, sociais e climáticos (IBÁ, 2025).

A madeira é um dos materiais reconhecidos pela sua sustentabilidade, em que seu ciclo de produção, que engloba desde seu crescimento até corte necessita de um gasto energético significativamente menor em comparação com outros materiais tradicionais do setor construtivo. Contudo, esta característica só é efetivamente alcançada quando o fornecimento ocorre por meio de boas práticas de reflorestamento e manejo florestal responsável (Cardoso, 2015).

A madeira é um material estrutural altamente vantajoso devido à sua excelente relação resistência-peso, sendo semelhante ao concreto na resistência à compressão e tração, mas com um quinto do peso. Essa leveza facilita a montagem e reduz a necessidade de infraestruturas complexas durante a construção. Além disso, sua elasticidade natural permite uma montagem rápida, tornando-a ideal para estruturas como telhados, pontes e edifícios de altura. Para garantir a continuidade e melhorar seu desempenho, utiliza-se frequentemente conexões coladas ou integrações com elementos de aço, aumentando a resistência e a capacidade de dissipar energia (Asdrubali *et al.*, 2017).

O estudo de Guo *et al.* (2017) comparou edifícios residenciais construídos com concreto armado (RC) e com Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC), com foco na eficiência energética e nas emissões de carbono durante a fase de operação. A construção em madeira apresentou desempenho superior em diversos aspectos. Esse resultado se deve, em grande parte, às características térmicas da madeira, que funciona como um isolante natural e reduz significativamente a perda de calor, o que contribui para menor demanda por aquecimento em climas frios. Além disso, a madeira é um material renovável que captura e armazena CO₂ durante seu crescimento, e sua produção consome menos energia em comparação ao concreto armado, resultando em menores emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, o estudo evidencia a construção em madeira como uma alternativa mais eficiente e

ambientalmente favorável, especialmente em regiões onde o desempenho térmico é um fator determinante.

De acordo com *Think Wood* (2024), um prédio comercial nos Estados Unidos que foi feito com madeira engenheirada, mais especificamente de MLC e mais de 1.100 painéis de madeira lamelada pregada (tanto em sua estrutura quanto no seu interior), e possui 7 pavimentos, foi concluído em apenas 2,5 meses, dando em média 9 dias por andar. Além disso, esses painéis de MLP, feitos de *Pinus taeda* com pregos metálicos, atendem os requisitos estéticos, possuem bom desempenho mecânico, possuem um baixo custo e não necessitam de mão de obra altamente especializada.

A madeira é um material que pode atuar como um grande armazenador de carbono, devido à sua capacidade de converter CO₂ em biomassa por meio da fotossíntese durante o crescimento, que a qualifica como uma alternativa ao concreto e ao aço em algumas aplicações. Contudo, há limitações no quesito de quantidade de madeira disponível para suprir as necessidades globais projetadas até 2050. Por outro lado, o concreto e o aço são materiais tradicionais de construção, os quais possuem altas emissões de carbono em seus respectivos processos de fabricação, como a calcinação do calcário no caso do cimento, e a alta utilização de energia na produção de aço. Essas atividades resultam em grandes quantidades de emissões de gases do efeito estufa, os quais ficam armazenados nas construções ao longo de toda a sua vida útil (Pomponi *et al.*, 2020).

Além disso, o uso extensivo de aço e concreto impulsiona a demanda por mineração de recursos como areias e minerais, que podem causar desmatamento e impactos ambientais adicionais, comprometendo a capacidade de absorção de carbono pelos ecossistemas (Churkina *et al.*, 2020).

Em contrapartida, a madeira serve como um sumidouro de carbono, especialmente quando utilizada em construções duradouras, aumentando o estoque de carbono na cidade e ajudando a reduzir as concentrações de CO₂ na atmosfera. Ela funciona como um reservatório que se integra às estruturas edificatórias, ampliando o sumidouro de carbono (conjunto de estoques de carbono) urbano e desempenhando um papel relevante na mitigação da mudança climática ao armazenar esse elemento de forma sustentável (Churkina *et al.*, 2020). A comparação entre madeira, aço e cimento pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação na fabricação da madeira, aço e concreto

Material	Consumo de energia	Emissão de CO₂	Poluição do ar	Resíduos Sólidos	Impacto ambiental
Madeira	1	1	1	1	1
Aço	2,40	1,45	1,42	1,36	1,6
Concreto	1,70	1,81	1,67	1,96	1,97

Fonte: Adaptado de Porto e Demarzo., 2017.

Além disso, de acordo com Anastácio (2010), a madeira possui como vantagem o seu aspecto natural que garante uma vasta existência de cores, aparência e padrões. Segundo Cardoso (2015), a madeira é um material que possui boa relação entre sua resistência e densidade e, se comparado com outros materiais, possui um bom desempenho se relacionar esta característica com a energia consumida na produção (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparativo entre materiais da construção

Material	Densidade (g/cm³)	Energia consumida na produção (MJ/m³)	Resistência (Mpa)
Concreto	2,4	1.920	20
Aço	7,8	234.000	250
Madeira Conífera	0,6	600	50
Madeira Dicotiledônia	0,9	630	75

Fonte: Adaptada de Calil Jr., 2003.

Também é válido levar em consideração a aplicação de cada material para que eles obtenham o melhor desempenho mecânico em sua aplicação, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Utilização dos materiais para melhor desempenho

Componente	Comportamento de melhor desempenho
Madeira	Flexão e Compressão
Concreto Armado	Compressão
Aço	Tração

Fonte: Berriel, 2009.

3.17 CONCRETO

Amplamente utilizado na construção civil, o concreto é composto por diversos materiais, conforme descreve a seguinte definição:

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (Couto *et al.*, 2013, p. 51).

Segundo Souza Júnior (2003) a pasta resultante da mistura de cimento e água envolve os agregados, preenchendo os espaços entre eles e promove a coesão da massa, o que garante sua compacidade e trabalhabilidade. Os agregados, por sua vez, têm a função de conferir resistência mecânica e ao desgaste ao concreto, além de reduzir seu custo e minimizar a contração. Ainda após a mistura dos componentes, obtém-se o concreto fresco, um material de consistência plástica que pode ser moldado em fôrmas, que com o passar do tempo, o componente endurece em decorrência das reações de hidratação do cimento, adquirindo resistência progressivamente, onde a resistência e durabilidade do material possuem uma relação direta com os elementos escolhidos na sua composição e formação. Essa característica distingue o concreto dos demais materiais de construção, uma vez que sua resistência à compressão é elevada, enquanto sua resistência à tração é significativamente inferior, correspondendo a aproximadamente um décimo da resistência à compressão.

Complementando a ideia, Souza Júnior (2003) explica que o concreto armado pode ser definido como um sistema construtivo composto pela união entre concreto simples e armaduras de aço, com aderência adequada entre ambos, de modo que atuem conjuntamente na resistência aos esforços aplicados à estrutura. Essa combinação é estratégica, uma vez que o concreto apresenta elevada resistência à compressão, enquanto o aço se destaca na resistência à tração, superando assim uma das limitações do concreto puro. Essa complementaridade entre os materiais torna o concreto armado uma solução estrutural eficiente, amplamente utilizada na construção civil brasileira.

De acordo com Couto *et al.* (2013), a utilização do concreto em estruturas que tem por fim controlar, estocar e transportar água faz dele um material ideal para essas

destinações, ao contrário da madeira e do aço comum. Ainda, dentre as principais vantagens do concreto armado, destacam-se a sua economia, já que os materiais utilizados são acessíveis e muitas vezes encontrados na própria região da obra, a durabilidade, pois sua resistência tende a aumentar com o tempo e a versatilidade, por se adaptar a qualquer tipo de forma e permitir liberdade de projeto arquitetônico. Além disso, apresenta baixo custo de manutenção, impermeabilidade, resistência a impactos e vibrações, execução simplificada e a capacidade de formar estruturas monolíticas, contínuas e bem integradas (Souza Júnior, 2003; Couto *et al.*, 2013).

No entanto, esse sistema também possui algumas limitações, como o alto peso próprio (em torno de 2.500 kg/m^3), o que pode exigir fundações mais robustas, dificuldade de reformas e demolições, especialmente em estruturas mais rígidas, baixo desempenho térmico e um tempo relativamente longo para atingir resistência final, embora este possa ser reduzido com o uso de aditivos (Souza Júnior, 2003; Couto *et al.*, 2013).

Conforme aponta Lehne (2018), o processo de produção do concreto constitui uma das principais fontes de emissão de CO_2 , representando cerca de 8% das emissões globais atribuídas às atividades humanas, onde pode-se ter como parâmetro que a produção de 1 Kg de Cimento Portland Comum (OPC), o mais utilizado mundialmente, resulta em média a produção de $0,93 \text{ Kg}$ de CO_2 .

Silva *et al.* (2025) investigam o impacto das decisões de projeto estrutural nas emissões de carbono incorporado em edificações de concreto armado, com enfoque especial sobre diferentes configurações de lajes. Os autores observaram que alterações relativamente simples, como a redução do espaçamento entre pilares ou a adoção de sistemas com vigas em substituição às lajes planas, podem resultar em reduções significativas de emissões, mantendo os materiais e tecnologias convencionais. As emissões variaram entre 48 e 167 kg de CO_2 por metro quadrado, a depender da configuração adotada, representando uma diferença de até 3,4 vezes.

Embora soluções com maior número de vigas demandem maior complexidade de execução, os resultados demonstraram que essas alternativas tendem a consumir menos concreto e aço, principais fontes de carbono incorporado, o que, por sua vez, as torna mais eficientes também do ponto de vista econômico. Além disso, a necessidade de mão de obra adicional não foi significativa, especialmente quando

comparada às lajes planas que, em grandes vãos, dependem de sistemas de protensão (técnica de engenharia usada para aumentar a resistência do concreto).

Apesar de suas características vantajosas, exposição dos componentes de concreto a altas temperaturas provocam uma série de consequências prejudiciais. Tais danos incluem o desprendimento de camadas superficiais calcificadas, separação das camadas e, ainda, o lascamento explosivo (Morales e Fagarello, 2011).

3.18 COMPARAÇÃO ENTRE CONSTRUÇÃO EM MADEIRA, CONCRETO E AÇO

A utilização da madeira em edificações de múltiplos pavimentos mostra-se particularmente vantajosa em razão de sua elevada relação resistência-peso. Em contextos nos quais o dimensionamento sísmico é determinante ou em terrenos com restrições de fundação, a leveza de uma estrutura predominantemente em madeira reduz significativamente tanto as cargas sísmicas quanto as cargas transmitidas às fundações, possibilitando soluções estruturais mais econômicas em comparação ao concreto armado (John, 2008).

Peuportier (2001) denomina que a análise do ciclo de vida (ACV) é aquela que engloba todo ciclo de vida de um sistema, como a fabricação dos componentes, a construção, o uso do edifício, a renovação e substituição de componentes, a desmontagem final e o tratamento após o uso dos componentes. Essa abordagem foi aplicada por Lippke *et al.* (2004) para comparar o desempenho ambiental de edificações em diferentes materiais, incluindo estruturas de concreto e de madeira engenheirada na cidade de Atlanta (Geórgia, EUA). Os resultados mostraram que as paredes de concreto, embora apresentem bom desempenho estrutural, tiveram impactos ambientais maiores que as de madeira na maioria das categorias avaliadas. A energia incorporada ao sistema construtivo de concreto foi cerca de 38% superior à da madeira, enquanto as emissões relacionadas ao Potencial de Aquecimento Global (GWP) foram aproximadamente 80% mais elevadas. Além disso, o concreto gerou 164% mais resíduos sólidos e apresentou 46% mais emissões atmosféricas em comparação às paredes de madeira.

Em linha com essas constatações, Sandanayake *et al.* (2018) realizaram um estudo comparativo entre duas tipologias estruturais, o primeiro se caracterizava como um edifício comercial de 15 pavimentos em concreto armado localizado em

Melbourne, com área total de 17.104 m² e consumo de cerca de 22.260 toneladas de concreto e 804,5 toneladas de aço, e um edifício de uso misto em Londres, de 11 pavimentos e 11.960 m², cuja estrutura acima do térreo foi executada em painéis de CLT (*Cross Laminated Timber*), demandando aproximadamente 4.650 m³ de madeira estrutural e reduzindo consideravelmente o uso de aço e concreto. Os resultados evidenciaram que o edifício em concreto apresentou emissões de 523,6 kgCO₂ -eq/m², enquanto o de CLT atingiu 508,8 kgCO₂ -eq/m², diferença explicada sobretudo pela menor intensidade de carbono da madeira e pela redução nas emissões de transporte, já que os componentes pré-fabricados em CLT são mais leves e de montagem rápida. Ainda que o edifício em madeira tenha registrado maior participação do consumo de eletricidade na fase de obra devido a condições específicas de fundação, o desempenho ambiental global foi superior, reforçando o potencial da madeira engenheirada como alternativa para mitigar os impactos ambientais da construção civil.

A construção em aço é tida como um sistema de alta rapidez em sua construção devido as suas características de industrialização além de ser um sistema de flexível e adaptável. Contudo, para que possua o seu desempenho eficaz deve ter sua conexão feita de forma correta, além de ser necessário a escolha correta dos materiais aplicados e a mão-de-obra que irá executar o projeto. Sobretudo, no Brasil esse sistema construtivo é pouco conhecido e empregado devido à baixa utilização de métodos industrializados na construção civil no país (Santiago; Freitas e Crasto, 2012).

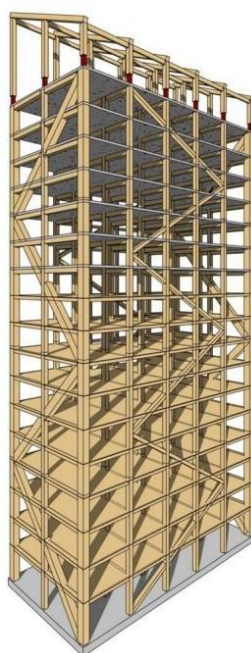
Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (2022) o sistema de construção em aço possui algumas vantagens como a pouca utilização de água em seu desenvolvimento, sendo necessária à sua utilização apenas na fundação, proporciona uma menor geração de resíduos, possibilita o desenvolvimento de uma construção mais eficiente, além do aço ser leve, resistente e um material reciclável. Em contrapartida o sistema necessita de um investimento inicial mais elevado, não possui mão de obra disponível para o seu desenvolvimento e por fim possui a limitação de altura em função das características do material.

3.19 ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA EM MADEIRA: OBRAS DE REFERÊNCIA

O desenvolvimento de projetos arquitetônicos no mundo em madeira vem aumentando significativamente. No panorama internacional, por exemplo, o México tem como tendência arquitetônica a utilização da madeira, devido à sua ampla aplicação e por possuir uma ligação direta com as raízes culturais do país (Arellano, 2023).

Na Noruega, Abrahamsen (2017) relata que o edifício *Mjøstårnet*, o qual possui 81 m de altura, é um grande exemplo de panorama futuro para construções em madeira. O material é unido a outros, como concreto e aço para compor sua estruturação. A estratégia híbrida deste projeto visou otimizar o desempenho estrutural, durabilidade e a segurança do edifício, mantendo também as vantagens ecológicas. Neste edifício os pisos da região inferior são compostos por concreto pré-fabricado, que funcionam como vigas de suporte e contribuem para aumentar a estabilidade e a resistência às cargas horizontais. Por outro lado, os demais elementos, incluindo as vigas e paredes de suporte, são predominantemente de MLC ou de madeira lamelada colada cruzada (Figura 14). Os componentes de aço utilizados são em conexões, assegurando maior resistência e facilidade na montagem do projeto.

Figura 14 - Estrutura do edifício



Fonte: Abrahamsen, 2017

No Canadá, o Brock Commons *Tallwood House* foi construído com a finalidade de ser uma moradia estudantil da *University of British Columbia* (UBC). Possuindo 53 metros de altura, tem capacidade de abrigar 404 alunos e foi executada em apenas 70 dias após a fabricação e expedição dos componentes pré-fabricados. A estrutura deste prédio tem como principal componente a madeira engenheirada, sendo utilizadas o MLC e madeira lamelada colada cruzada, além do *drywall* e painéis de concreto (Figura 15).

Figura 15 - Montagem do prédio



Fonte: Hasan, 2017

No contexto brasileiro, em São Paulo em 2020, foi inaugurado o primeiro prédio em madeira do país. A obra foi desenvolvida em madeira lamelada colada cruzada e utilizada na execução das lajes, trazendo inovação e sustentabilidade ao local (Figura 16). A área da construção é de 1.500,00 m² e possui 4 pavimentos (MFMM Arquitetura, 2020).

Figura 16 - Loja Dengo em São Paulo/SP



Fonte: Farah e Maia, (2020).

Legenda: Projeto da Fábrica da Dengo. Foto: Fran Parente

A Pinacoteca em São Paulo é outra construção que tem grande relevância na arquitetura contemporânea do Brasil por se tratar de um espaço público e receber um grande volume de pessoas. Neste projeto tem-se uma construção híbrida que combina madeira, cimento e aço, de forma que o material que mais se destaca é a madeira, devido as suas características visuais e estéticas (Camargo, 2024).

Bem como a Pinacoteca, o projeto da Fazenda Canuanã é um grande marco na história da arquitetura em madeira no Brasil, desenvolvida pelo arquiteto Gustavo Utrabo. Se trata de um projeto desenvolvido com madeira engenheirada no estado do Tocantins e que vem sendo premiado desde sua concepção, vencendo concorrentes renomados no mercado arquitetônico internacional (Camargo, 2024).

3.20 ESTUDO DE CASO: FAZENDA CANUANÃ

3.20.1 Descrição geral do projeto

A obra contemporânea da Moradia Infantil de Canuanã, desenvolvida no ano de 2015 e finalizada no ano de 2016 e foi desenvolvida com madeira engenheirada. Localizada na cidade de Formoso Araguaia (TO), projetada com MLC e construída por meio da parceria entre a Fundação Bradesco com Rosenbaum, Aleph Zero e ITA Construtora. Segundo Marquez (2018) “A princípio, os arquitetos haviam pensado em fazer estruturas de concreto, porém, perceberam que na região não havia fábricas desse material”, sendo a madeira o grande viabilizador da realização da obra nesta região.

A construção foi executada com o objetivo de reformular a escola rural da Fazenda Canuanã, a qual aloja alunos da Fundação Bradesco e é organizado em duas vilas, sendo uma feminina e uma masculina. A obra contempla mais de 23.000 m² de área construída e possui o encontro de 3 biomas, caracterizados como o Cerrado, Pantanal e da Amazônia, como inspiração arquitetônica (Figura 17). Os biomas mencionados têm como característica a alta amplitude térmica, além de períodos de muita seca e chuvas, que influenciou o desenvolvimento de um projeto que visasse melhor conforto térmico e de luminosidade (Hsiao *et al.*, 2021).

Figura 17 - Fazenda Canuanã



Fonte: ITA Construtora ([2025])

A escola foi desenvolvida em 1973 com o propósito de atender os filhos dos moradores da região os quais possuem baixa renda, podendo ser indígenas, caboclos e assentados, e funcionar como um internato intensivo. Os alunos inicialmente dividiam os quartos com 40 colegas com isso a Fundação Bradesco viu a necessidade de expansão do espaço (Rosenbaum, 2021).

3.20.2 Características construtivas

Segundo Kok (2022), diante do difícil acesso ao terreno, a escolha pela obra pré-fabricada foi crucial, resolvendo questões de tempo e viabilidade econômica. Toda a estrutura foi fabricada pela ITA Construtora, em São Paulo, com alta organização de logística e depois transportadas para a Fazenda Canuanã, sendo que para a otimização do transporte e reduzir os custos do frete, todas as peças foram dimensionadas com tamanho máximo de 9 metros.

Para aproveitar de forma eficiente os elementos presentes nesta estrutura, foram utilizados além da madeira, tijolos (cobogós) ou também nomeado de solo-cimento que, para se integrar ainda mais ao ambiente, foram produzidas na obra com

o solo da fazenda e foram instalados nas paredes dos quartos, com o objetivo de garantir uma melhor ventilação natural no local, gerando o chamado resfriamento passivo, dando um maior conforto térmico durante o período da noite. Além disso, a estrutura é composta por telha industrial metálica e laje de concreto, fazendo alusão a uma estrutura que flutua (Hsiao *et al.*, 2021; Trevisan, 2017; Rosembaum 2017).

Segundo Hsiao *et al.* (2021), Utrabo (2021) e Going Green (2018), o projeto desta moradia contempla pátios internos e amplas coberturas da estrutura em madeira, com uma malha estrutural de 5,90 x 5,90 metros com pilares e telhas que reduzem a incidência solar direta sobre as edificações além de seu design permitir uma ventilação cruzada com pé direito de 8 metros, que é gerada pela arquitetura de comunicação entre os andares e pelas continuidades da construção no mesmo piso. Nos quartos, as esquadrias permitem ampla abertura das janelas e o paisagismo com espécies do cerrado trazem a ideia de um microclima local, trazendo uma valorização espacial e a integração entre madeira e clima/localidade, característica a qual garantiu grande visibilidade e premiações internacionais da obra (Camelo; Vasconcelos; Guimarães, 2021).

De acordo com Rosembaum (2017), a Fazenda de Canuanã possui cerca de 1.100 m³ de madeira de reflorestamento, sendo considerada como a maior construção de madeira da América Latina.

3.20.3 Aspectos arquitetônicos e sociais

Entre os anos de 2017 e 2018, momento em que diversas entrevistas foram publicadas tendo como tema esta obra, ela ganhou prêmios importantes no mundo da arquitetura, como o *RIBA International Prize* (2018) (Camelo; Vasconcelos; Guimarães, 2021)

Os delgados pilares de madeira desenvolvidos para a obra permitem uma maior integração entre a construção e o ambiente que a rodeia, trazendo a união entre a construção e o ambiente (Figura 18), ou seja, uma arquitetura que explora a beleza do contexto geral. A utilização da madeira garantiu uma harmonização com o ambiente ao redor da obra desenvolvida, dando a característica de continuidade e integração entre o a construção e o lugar, ademais “[...] a permeabilidade visual mantém o aluno o tempo todo conectado com a natureza e com o que está acontecendo do lado de fora” (Silva, João e Perrone, 2021).

Figura 18 - Pavimento térreo com tijolo e mezanino da edificação



Fonte: : Finotti, Ohtake, ([2025]).

No quesito social, esta construção teve uma grande importância para a comunidade, proporcionando mais espaço de vivência e para os alunos, além do fato de que, no início da obra, os alunos participaram diretamente no desenvolvimento da arquitetura do local, dinâmica baseada na vivência do cotidiano das crianças (Rosenbaum, 2021).

Na visão de Magni (2017), o processo do desenvolvimento do projeto foi uma prática que uniu sensibilidade cultural e engajamento social, em que o conhecimento, a história e tradições das pessoas da Fazenda Canuanã foram transformados em elementos centrais do projeto arquitetônico, por meio dos materiais, formas e decoração do espaço. Neste processo, o autor reconhece um rompimento com o elitismo ainda muito presente na arquitetura brasileira e propõem uma abordagem muito mais inclusiva (Figura 19).

Figura 19 - Estrutura da Fazenda Canuanã



Fonte: Utrabo, 2021.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica, desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar informações relevantes sobre o desempenho e as potencialidades da madeira engenheirada aplicada à construção civil brasileira. Para isso, foram consultadas diferentes bases de dados digitais, com destaque para o Google Acadêmico e o SciELO, além de livros técnicos e materiais institucionais que tratam do tema. Essa combinação de fontes possibilitou o levantamento de conteúdos atualizados sobre madeira engenheirada, bem como de referências clássicas necessárias para compreender conceitos fundamentais, como anatomia e propriedades da madeira.

As buscas foram realizadas a partir de palavras-chave definidas previamente, em português e inglês, como: *wood*, *engineered wood*, *cross laminated timber*, *glulam*, sustentabilidade, madeira engenheirada, construção sustentável, anatomia da madeira, madeira na construção civil e caracterização da madeira. O uso de termos em inglês ampliou o alcance das pesquisas, permitindo incluir estudos internacionais relevantes, especialmente em países onde o uso da madeira engenheirada já está consolidado. Para conteúdos conceituais básicos e descritivos, como propriedades físicas, comportamento higroscópico e fundamentos anatômicos, também foram utilizados livros e artigos mais antigos, considerados referências tradicionais na área. Foram incluídos na revisão os materiais que apresentavam relação direta com a construção civil em madeira, particularmente aqueles que tratavam de madeira engenheirada, seus produtos (como MLC, CLT e *wood frame*), seu desempenho estrutural, sua comparação com materiais convencionais e seus aspectos ambientais e econômicos. Também foram incluídos estudos que discutiam desafios de implementação no Brasil, além de relatos de obras de referência, como a Fazenda Canuanã. Priorizou-se a escolha de artigos publicados nos últimos dez anos, com o intuito de garantir atualidade às discussões, exceto quando se tratava de conteúdos clássicos sobre anatomia e características da madeira.

Foram excluídos textos que não apresentavam relação direta com a temática central, como materiais focados exclusivamente em silvicultura, botânica florestal, ecologia ou produção industrial da madeira sem ligação com a construção civil. Também foram descartados artigos superficiais, sem metodologia clara, textos

opinativos, materiais com acesso apenas parcial, além de publicações que mencionavam madeira apenas de forma periférica, sem abordar sistemas engenheirados. Estudos redundantes, que não apresentavam contribuições adicionais ao tema, também foram eliminados.

Após a triagem, as obras selecionadas passaram por leitura exploratória e, posteriormente, por leitura analítica, permitindo identificar dados relevantes sobre desempenho estrutural, propriedades tecnológicas, sustentabilidade, custos, logística e barreiras para a adoção da madeira engenheirada no Brasil. Essas informações foram organizadas e sintetizadas, possibilitando a construção das análises e comparações apresentadas nos capítulos seguintes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no levantamento bibliográfico, foi possível elaborar uma discussão acerca dos pontos que podem tornar a madeira engenheirada um material com desempenho satisfatório e de potencial uso dentro da construção civil brasileira. Os dados obtidos são apresentados e discutidos a seguir, possibilitando uma análise e comparação com outros materiais, como concreto e aço, fundamentados em critérios debatidos pela literatura.

5.1 SUSTENTABILIDADE NO USO DA MADEIRA E EMISSÃO DE CARBONO

Os dados analisados no estudo evidenciam que o principal fator associado ao uso da madeira engenheirada é o seu desempenho ambiental, principalmente pela utilização de madeira de reflorestamento e pela redução de emissões ao longo da cadeia produtiva. Na análise técnica referentes à obra analisada (Fazenda Canuanã), verificou-se que a adoção de madeira proveniente de florestas plantadas que contribuiu para diminuir a pressão sobre espécies nativas e possibilitou um processo construtivo mais limpo e industrializado.

Esse comportamento corrobora os achados de Timponi (2017), que destaca o papel do manejo florestal adequado para ampliar a conservação da biodiversidade, e converge com a literatura ambiental que aponta a madeira como material de menor impacto em comparação ao concreto e ao aço. Os resultados encontrados dialogam diretamente com Calil Jr. (2003) e Porto e Demarzo (2017) que identificam o concreto como uma das maiores fontes de emissões de CO₂ no setor da construção civil.

O uso da madeira engenheirada mostrou-se alinhado ao que indicam Guo *et al.* (2020) e Churkina *et al.* (2020) sobre o papel do material como sumidouro de carbono, já que as peças utilizadas na obra analisada derivam de florestas plantadas e armazenam carbono ao longo do ciclo de vida. Desse modo, verifica-se que as vantagens ambientais discutidas por Porto e Demarzo (2017) e Sandanayake *et al.* (2018) não permanecem apenas no campo teórico, mas se materializam de forma concreta em obras reais como a Fazenda Canuanã.

5.2 DESEMPENHO ESTRUTURAL E SEGURANÇA

A análise dos documentos e das informações disponíveis sobre a Fazenda Canuanã, reconhecida como a maior obra em madeira da América Latina, indica que o desempenho mecânico da madeira utilizada foi compatível com as necessidades estruturais do projeto. A obra evidencia estabilidade, eficiência estrutural e bom comportamento do material durante a execução e na sua configuração final. Embora os dados públicos sobre a Fazenda Canuanã não permitam avaliar de forma isolada o comportamento da madeira especificamente sob tração e compressão, o desempenho observado é coerente com o que a literatura especializada descreve. Segundo Pauli, Azambuja e Oliveira (2021) produtos de madeira engenheirada apresentam elevada capacidade resistente e bom desempenho mecânico devido ao processo industrial, que reduz defeitos naturais e aumenta a confiabilidade estrutural.

Autores como Asdrubali *et al.* (2017) destacam que a madeira engenheirada apresenta uma boa relação resistência/peso, o que favorece tanto a execução quanto a logística da obra. De forma complementar, Berriel (2009), explica que a madeira possui vantagens em relação aos outros materiais quando submetido as forças de tração e compressão, diferentemente do concreto, que possui melhor desempenho sob compressão, e do aço, que se destaca em situações de tração.

Além disso, conforme John (2008), a viabilidade da utilização da madeira em edificações de múltiplos pavimentos está diretamente relacionada à sua característica de leveza e esta particularidade reduz significativamente o peso da construção, possibilitando o uso de soluções estruturais mais econômicas em comparação ao concreto armado e facilitando a aplicação em áreas com restrições de fundação ou sujeitas a ações sísmicas.

Autores como Calil, Lahr e Dias (2003) e Vairo (2011) destacam que, ao contrário do senso comum relacionado à madeira, os principais obstáculos culturais para a aceitação do material não estão apenas em seu desempenho estrutural, mas também envolvem aspectos institucionais, conforme defendido por Shingue (2018). Entre esses fatores, destaca-se o preconceito em relação ao risco de incêndio. No entanto, os estudos de Calil, Lahr e Dias (2003), Anastácio (2010), Vairo (2011) e Martini (2013) enfatizam a capacidade da madeira de formar uma camada de carbonização que atua como isolante térmico, garantindo a integridade do núcleo da

peça e permitindo que a madeira engenheirada mantenha sua capacidade de carga estrutural por mais tempo se comparado ao aço, o qual sofre distorção quando exposto a altas temperaturas.

A análise prática confirma esse desempenho positivo, especialmente em obras que se beneficiam da leveza estrutural e da montagem acelerada, como é o caso observado no estudo. Assim, verifica-se que a realidade da construção civil reforça os argumentos apresentados por John (2008) e Asdrubali *et al.* (2017), ao mostrar que a madeira engenheirada permite soluções com bom desempenho mecânico e alta eficiência logística.

5.3 PANORAMA DAS EMPRESAS BRASILEIRAS DE MADEIRA ENGENHEIRADA

Por meio da revisão bibliográfica realizada, foi possível organizar as ideias defendidas por autores, de modo a sintetizar as contribuições dos diferentes autores sobre a aplicação da madeira engenheirada na construção civil. Os materiais consultados permitiram a construção de um mapeamento (Figura 20) das empresas brasileiras (Quadro 3) que produzem e utilizam esse material em seus processos construtivos.

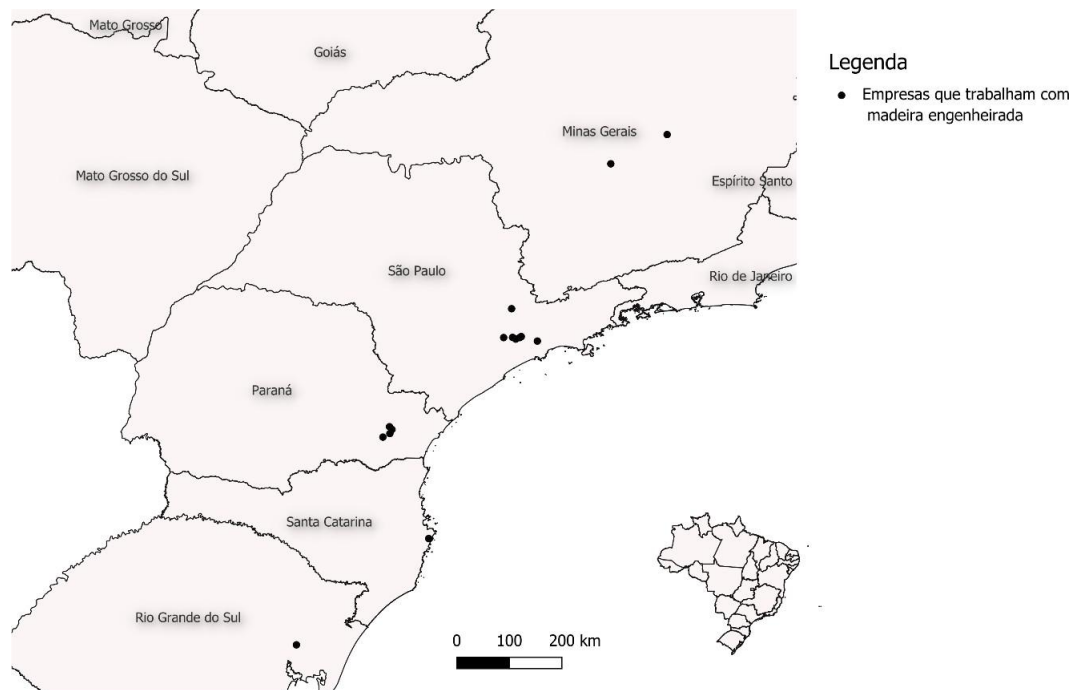
Quadro 3 – Empresas que utilizam madeira engenheirada na construção civil

Empresas	Tipo de construção	Localização	Espécie utilizada	Link
Ita Construtora	Madeira Lamelada Colada (MLC)	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus grandis</i>	https://www.itaengenharia.com/
Urban	Cross Laminated Timber (CLT); Madeira Lamelada Colada (MLC); S4S URBEN CLASS	Paraná - PR - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://urbembr.com/madeira-engenheirada/
Timbau	Cross Laminated Timber (CLT)	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://timbauestruturas.com.br/
Crosslam	Cross Laminated Timber (CLT); Madeira Lamelada Colada (MLC)	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://crosslam.com.br/
Rewood	Madeira Lamelada Colada (MLC)	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://rewood.com.br/o-que-fazemos
ESMAD	Madeira Lamelada Colada (MLC)	Minas Gerais - MG - Brasil	Não consta	https://esmadbrasil.com.br/
Noah	Cross Laminated Timber (CLT); Madeira	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://www.noahtech.com.br/

	Lamelada Colada (MLC)			
HolzFormen	<i>Woodframe</i>	São Paulo - SP - Brasil	Não consta	https://holzformen.com.br/
Callia Estruturas de Madeira	Madeira Lamelada Colada (MLC)	São Paulo - SP - Brasil	Não consta	https://www.callia.com.br/
SCALI	<i>Woodframe</i>	São Paulo - SP - Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://scali.com.br/
Casas Kurten	<i>Woodframe</i>	Paraná - PR- Brasil	Itauba, Cedrinho, Grapia,	https://www.casaskurten.com.br/
Tecverde	<i>Woodframe</i>	Paraná - PR- Brasil	Não consta	https://www.tecverde.com.br/
Volver Sistemas construtivos	<i>Woodframe</i>	Paraná - PR- Brasil	<i>Eucaliptus e Pinus</i>	https://volver.eng.br/
Delrei	Madeira Lamelada Colada (MLC)	Santa Catarina - SC - Brasil	<i>Pinus taeda ou Pinus elliottii e o de Eucalipto</i>	https://delreibrasil.com.br/
Xlam Brasil	Madeira Lamelada Colada (MLC), Madeira Lamelada Colada Cruzada (CLT)	Paraná - PR - Brasil	<i>Pinus e Eucalipto</i>	https://xlambrasil.com.br/

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 20 - Mapa da localização de empresas que trabalham com madeira engenheirada



Fonte: Próprio autor, 2025

De acordo com a análise dos dados, fica evidente que as empresas fabricantes de madeira engenheirada no Brasil estão concentradas, em sua maioria, nas regiões Sul e Sudeste do país (Figura 20). Essa distribuição espacial coincide com a localização predominante das florestas plantadas de eucalipto e pinus, que constituem a principal matéria-prima para fabricação de madeira engenheirada, proporcionando uma integração produtiva que fortalece a cadeia de base florestal e construtiva no Brasil (IBÁ, 2025). Além disso, a proximidade territorial entre a matéria prima e a indústria proporciona uma logística favorável, com menores custos de transporte e maior disponibilidade de recursos, o que contribui para a competitividade do setor (Olga, 2023).

Por outro lado, a forte concentração regional de empresas deste ramo pode ser um desafio para a difusão da madeira engenheirada em escala nacional. Em regiões como Norte e Nordeste ainda predomina a utilização de madeira nativa, com predomínio de usos não estruturais e baseando-se na construção com materiais tradicionais, como concreto e alvenaria. De acordo com o IBGE (2024), 87% da população reside em domicílios com paredes externas de alvenaria. Isso reforça que, apesar do potencial competitivo da madeira engenheirada, sua adoção ainda se concentra em regiões específicas e enfrenta barreiras culturais e estruturais no restante do país.

5.4 CUSTO E EFICIÊNCIA CONSTRUTIVA

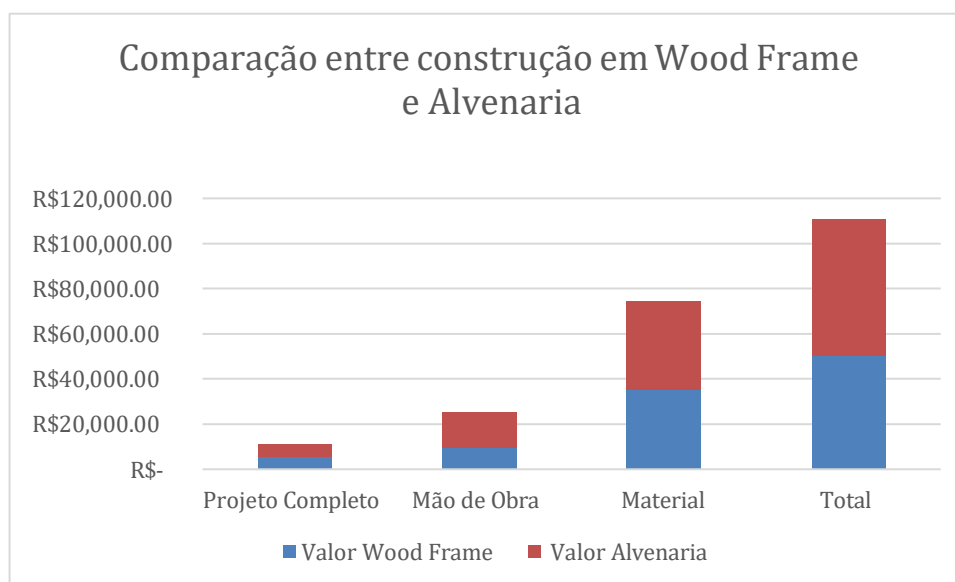
No aspecto econômico, há uma dualidade onde, segundo o SEBRAE (2022), o custo inicial da madeira engenheirada pode ser superior aos valores monetários do concreto devido a disponibilidade de mão de obra qualificada, indo de encontro com a ideia defendida por Cover (2020) que afirma que construções deste tipo possui custos diretos maiores provenientes do desenvolvimento da obra e instalação. Além disso, Oliveira (2023) relata a importância de se obter um projeto compatível com as necessidades de uma construção, contudo a eficiência pode aumentar os custos da estrutura.

Em contrapartida, Ihg (2021) afirma que os custos são diminuídos no transporte do material devido a sua densidade. Cover (2020) leva em consideração que há uma

redução desses custos, uma vez que tem a diminuição dos custos de obra, uma menor necessidade de número de funcionários e menor necessidade de acabamentos. Além disso, Latteke e Lehmann (2007) citam economia de energia, devido às características isolantes da madeira. Há divergência sobre a real relevância de seus benefícios econômicos, o que pode explicar as dificuldades de difusão no Brasil e, como lembra Shingue (2018), a decisão construtiva brasileira é fortemente guiada por custos e influenciada por tradição cultural.

Essa perspectiva discutida, onde obras desenvolvidas com madeira engenheirada são mais caras é criticada por autores que defendem a análise pelo custo total da obra; Lopes (2013), por exemplo, ao comparar um projeto de 52,4 m² em *wood frame* e alvenaria, demonstrou que o projeto em madeira foi 8% inferior no custo total. Sendo que a economia mais significativa ocorreu na mão de obra, que foi de 60% menor (Gráfico 1). Este resultado corrobora com o argumento de que a eficiência construtiva compensa o custo inicial mais alto. No entanto Stüpp, Souza e Schweitzer (2018) alertam que o sucesso dessa economia depende de um projeto altamente alinhado ao processo construtivo, uma vez que a incompatibilidade eleva o custo do projeto.

Gráfico 1 - Comparação entre construção em *wood frame* e alvenaria



Fonte: Próprio autor, 2025.

5.5 COMPARATIVO ENTRE MATERIAIS ESTRUTURAIS

A madeira engenheirada, o concreto e aço são opções aplicáveis na construção civil os quais possuem suas especificações e particularidades. A madeira é um material renovável, sustentável e possui a capacidade de adquirir diversas formas de composição de seu desenho, cor e grã, com uma boa acústica e baixa condutividade térmica, sendo ideal para locais que exigem conforto de diversas formas (Moreschi, 2010). Em contrapartida, o concreto e o aço, possuem uma boa resistência a intempéries e são acessíveis, apesar de terem alta geração de CO₂ durante sua produção. O Quadro 4 compara o desempenho da madeira, aço e concreto sob critérios ambientais, estruturais e econômicos, destacando-se as vantagens da madeira em termos de sustentabilidade e eficiência.

Quadro 4 - Comparativo entre Madeira, Concreto e Aço na Construção Civil

Critério	Madeira	Concreto	Aço	Fonte
Consumo de energia na produção	Muito baixo (600–630 MJ/m ³)	Alto (1.920 MJ/m ³)	Altíssimo (234.000 MJ/m ³)	Calil Jr. (2003)
Emissão de CO ₂ / Impacto ambiental	Menor impacto (renovável, estoca carbono)	Alto (produção de cimento gera altas emissões)	Muito alto (produção de aço é intensiva em energia e carbono)	Porto e Demarzo (2017); Pomponi <i>et al.</i> (2020)
Resíduos sólidos / Poluição	Baixo	Alto	Alto	Porto e Demarzo (2017)
Resistência mecânica	Boa relação resistência/peso (50–75 MPa); flexível e leve	Baixa resistência específica (20 MPa, mas bom em compressão)	Muito alta resistência estrutural, excelente em tração	Calil Jr. (2003); Asdrubali <i>et al.</i> (2017)
Densidade	Baixa (0,6–0,9 g/cm ³)	Média (2,4 g/cm ³)	Muito alta (7,8 g/cm ³)	Calil Jr. (2003)

Tempo de construção	Até 50% mais rápido que concreto (em alguns casos - 30% a 28%)	Mais lento (devido a cura do material)	Médio (mais rápido que concreto, mas exige mão de obra especializada)	IBÁ (2022); Kremer & Ritchie (2018); Cazemier (2017)
Flexibilidade construtiva	Alta (pré-fabricação, modular, versátil)	Média (limitações na modulação e adaptação)	Alta (sistemas modulares, leve, adaptável)	Shirmohammadi <i>et al.</i> (2021); Aflalo (2023)
Sustentabilidade	Renovável, captura carbono, estoque de CO ₂	Baixa (extração mineral, alto impacto ambiental)	Média (aço pode ser reciclado, mas alto custo energético de produção)	IBÁ (2025); Churkina <i>et al.</i> (2020)
Resistência ao fogo	Possui bom desempenho em situações de incêndio, devido à baixa condutividade térmica e à formação de uma camada carbonizada que protege o interior da peça.	Resiste por certo tempo, mas perde resistência quando submetido a altas temperaturas, colapsando	Ocorre distorção do material quando submetido a altas temperaturas	Calil, Lahr e Dias (2003); Morales e Fagarello (2011)
Custo (R\$/m ²)	1.200,00 - 1.500,00	1.877,29	2.000,00 - 3.500,00	CAIXA (2025); Eco Agile (2024)

Fonte: Próprio autor, 2025.

De acordo com a Quadro 4 os resultados reforçam que, sob a ótica da sustentabilidade e do ciclo de vida dos materiais, a madeira apresenta vantagens significativas frente, principalmente, ao concreto e ao aço em segundo plano. Isso ocorre porque a madeira, além de demandar menos energia no processamento,

também atua como estoque de carbono durante sua vida útil (desenvolvimento), contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Assim, no contexto das políticas de construção sustentável, o uso da madeira surge como uma alternativa ambientalmente mais responsável para edificações.

Com base nessas características e na Tabela 5, a melhor aplicação para cada material pode ser descrita da seguinte forma:

- i) O Aço, por possuir uma muito alta resistência estrutural e excelente em tração, além de possibilitar flexibilidade construtiva e velocidade de montagem, é ideal para estruturas que necessitam de grandes vãos e em projetos que buscam a rapidez de execução e adaptabilidade do design;
- ii) O Concreto, devido à sua boa resistência a intempéries, baixo custo de mão-de-obra e notável desempenho à compressão, é mais bem aplicado em estruturas que demandam controle de água, como barragens, reservatórios e tubulações, ou em elementos de fundação e
- iii) A Madeira Engenheirada, com sua superior relação resistência/peso, sustentabilidade, leveza e rapidez de construção, é mais bem aplicada em estruturas leves, edifícios de múltiplos andares, pontes e em construções situadas em ambientes com alta atividade sísmica.

Quadro 5 – Benefícios da utilização da madeira na construção civil segundo diferentes autores

Autor	Ano	Benefícios
Shirmohammadi <i>et al.</i>	2021	Benefícios ambientais e sustentáveis. Possibilidade de pré-fabricação. Menores custos de construção. Flexibilidade no planejamento. Madeira como material renovável.

		Baixa energia incorporada. Propriedade isolante. Planejamento e execução de obra eficientes.
Porto e Demarzo	2017	O processo de fabricação de madeira possui indicadores de sustentabilidade durante todo processo
Latteke e Lehmann	2007	Vantagens relacionadas à economia de energia. Propriedade isolante. Material renovável e captador de CO₂ . Permite diferentes formas arquitetônicas. Possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis e de alta performance.
lhg	2021	Pré-fabricação facilitada pelo baixo peso estrutural da madeira. Redução de custos no transporte (logística).
Asdrubali <i>et al.</i>	2017	Boa relação resistência/peso. Leveza facilita a montagem. Menor necessidade de estruturas complexas na construção.

Guo <i>et al.</i>	2017	Material isolante e renovável. Captura e armazena carbono. Produção consome menos energia.
Think Wood	2024	Painéis de madeira com bom desempenho mecânico. Baixo custo no experimento.
Pomponi <i>et al.</i>	2020	Madeira armazena carbono durante o crescimento. Limitação: quantidade disponível nas plantações.
Churkina <i>et al.</i>	2020	Madeira atua como sumidouro de carbono. Mitiga a mudança climática.
Anastácio	2010	Madeira é um material natural com diversas características.
Cardoso	2015	Alta resistência e baixa densidade. Baixo consumo de energia em sua produção.
Molina e Calil	2010	Material isolante

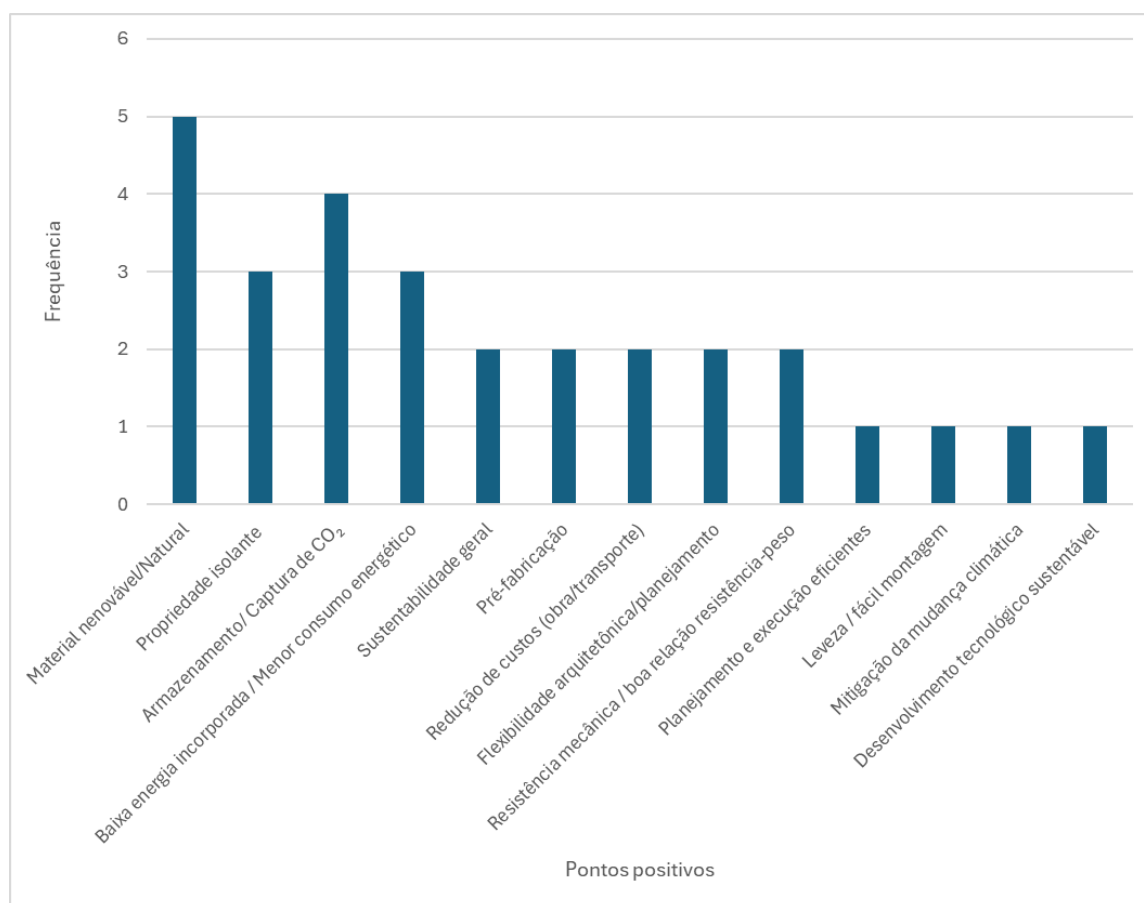
Fonte: Próprio autor, 2025.

5.6 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA MADEIRA ENGENHEIRADA IDENTIFICADOS NA LITERATURA

A análise dos artigos selecionados revelou diversos benefícios associados ao uso da madeira engenheirada na construção civil. O Gráfico 2 apresenta a frequência com que cada benefício foi mencionado na literatura encontrados em doze trabalhos. O aspecto mais destacado foi a madeira como material renovável/natural, citada em

42% dos estudos (5 de 12). A capacidade de armazenar e capturar CO₂, assim como a propriedade isolante, foram ressaltadas em 33% dos artigos (4 de 12) cada. Outros benefícios relevantes incluem o baixo consumo energético na produção, a pré-fabricação e a redução de custos, mencionados em 17% dos estudos (2 de 12) cada. Aspectos como flexibilidade arquitetônica, boa relação resistência/peso, leveza estrutural e maior eficiência no planejamento e execução das obras também foram apontados, embora com menor frequência.

Gráfico 2 - Frequência dos principais benefícios da madeira identificados na literatura



Fonte: Próprio autor, 2025.

Os resultados confirmam a relevância da madeira engenheirada como alternativa sustentável aos materiais convencionais, como aço e concreto. O destaque dado ao caráter de material renovável e ao sequestro de carbono mostra que os estudos priorizam o papel da madeira no enfrentamento da mudança climática e na

busca por práticas construtivas de baixo impacto ambiental. Por outro lado, benefícios econômicos e técnicos, como redução de custos, pré-fabricação e flexibilidade arquitetônica, embora presentes, aparecem com menor frequência. Isso sugere que, apesar de a literatura reconhecer tais vantagens, o discurso em torno da madeira engenheirada ainda é fortemente pautado pela sustentabilidade, o que pode limitar sua difusão em países como o Brasil, onde fatores como custo e produtividade são decisivos.

Adicionalmente, as menções à resistência mecânica, à leveza e à versatilidade de projeto demonstram que a madeira engenheirada tem condições de competir tecnicamente com materiais tradicionais. No entanto, para consolidar sua aplicação em larga escala no Brasil, é necessário superar barreiras culturais e ampliar a difusão de conhecimento técnico, de modo a reduzir a resistência do setor construtivo à novas soluções.

Apesar dos resultados apresentarem pontos positivos em relação a utilização da madeira engenheirada na construção civil, a análise crítica demonstra que ainda existem barreiras importantes para a adoção em larga escala da madeira engenheirada no Brasil. A barreira cultural é um ponto muito importante que deve ser levado em consideração, já que a utilização de alvenaria reflete uma tradição consolidada na construção brasileira, uma vez que grande parte das moradias são de alvenaria (IBGE, 2024), mostrando-se necessário promover a mudança de mentalidade de consumidores do setor, além de viabilidade técnica e econômica (Shingue, 2018).

5.7 DESAFIOS OPERACIONAIS E CUSTO: PERSPECTIVA PRÁTICA

A viabilidade econômica da madeira engenheirada, segundo a revisão bibliográfica de Lopes (2013), é modulada na prática de fatores operacionais e de mercado.

Em dados obtidos diretamente com a empresa ITA Construtora Ltda., elementos como a complexidade do projeto, as dimensões da obra, a distância entre a fábrica e o canteiro e ainda especificidades e complexidade do desenho estrutural, como a necessidade de vigas curvas, influenciam diretamente no valor final da obra. Nesse sentido, a comparação em valores por metro quadrado mostra-se mais eficaz

do que o metro cúbico, visto que soluções distintas para um mesmo projeto podem apresentar diferenças consideráveis no consumo do material.

Neste contexto, e com base em exemplos dados pela empresa, é possível compreender a amplitude desses custos; uma obra de grande porte, com mais de 4.000 m² de área, apresentou custo aproximado de R\$740,00/m², resultado de sua simplicidade e da escala de produção. Já uma obra menor, com apenas 370 m², alcançou o valor de R\$2.000,00/m², enquanto em alguns casos pontuais foram observados custos superiores a R\$3.000,00/m². De forma geral, a construtora estima que a média de mercado esteja entre R\$1.200,00 e R\$1.500,00/m², preço que já contempla concepção, projeto, fabricação, usinagem, montagem e a aplicação de uma demão de produtos que protegem a madeira.

Além dos aspectos financeiros, também foi levantada a questão do tempo de execução das montagens. Em média, uma equipe composta por três profissionais consegue montar cerca de 1m³ por dia, que corresponde a aproximadamente 20m² diários. Do ponto de vista da capacidade produtiva, a empresa informa que sua fábrica tem condições de produzir cerca de 45m³ por turno na semana, o que equivale a 900 m³ por mês. Esta análise demonstra que a viabilidade econômica da madeira engenheirada não é fixa, mas sim contextual e depende da otimização do projeto, reforçando o argumento de que a redução de custos por meio da eficiência construtiva é o fator determinante para a competitividade frente aos sistemas tradicionais.

5.8 EXEMPLO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA ENGENHEIRADA BEM-SUCEDIDA: FAZENDA CANUANÃ

A madeira engenheirada é um material que possui notoriedade por sua versatilidade de utilização e pela capacidade de assumir aplicação em diversas ocasiões e aplicações na construção civil, como vigas, barrotes e pilares (Aflalo, 2023). As características únicas trazidas pela madeira proporcionam beleza ao ambiente e destaque ao material.

A Fazenda Canuanã, é um exemplo de obra bem-sucedida, que tem a integração da natureza que circunda a obra e a construção (Silva, João e Perrone, 2021). Nesta obra pré-fabricada, o tempo de execução foi diminuído e sua composição foi facilitada pela escolha do material. Além disso, a escolha pela madeira

engenheirada proporcionou equilíbrio entre desempenho técnico e impacto ambiental, por meio da utilização de MLC, projetada com plantas dos biomas locais e utilização de componentes, como os tijolos, que fazem parte do ambiente local, trazendo maior conexão dos moradores com a ancestralidade e valorização cultural da região (Magni, 2017). O projeto é uma obra reconhecida internacionalmente, especialmente por conciliar desempenho técnico, conforto ambiental e relevância social. Além do conforto térmico gerado pela estrutura, a madeira, devido a sua baixa condutividade térmica, contribui para a estabilidade da temperatura interna, oferecendo um ambiente agradável e eficiente energeticamente, por evitar a utilização de climatizadores (Hsiao *et al.*, 2021).

Esta obra, apesar de ser produzida com MLC, que possui um custo cerca de 10% a 15% maior que concreto e aço, conforme Leite *et al.* (2021) e estar localizada no Tocantins, o que eleva os custos logísticos de transporte, ainda assim o sistema de madeira engenheirada superou as alternativas convencionais, mostrando-se mais viável que o concreto e o aço.

O estudo da Fazenda Canuanã viabiliza a utilização da madeira engenheirada na construção civil em que se observa diversos aspectos apontados pela literatura sobre o desempenho e o potencial. As vantagens amplamente descritas, como a eficiência da pré-fabricação, a redução do tempo de obra e a precisão dimensional, aparecem de forma evidente no projeto, especialmente pela definição de módulos de 9 metros, que facilitaram o transporte da estrutura produzida em São Paulo e otimizaram a montagem no Tocantins. Do mesmo modo, o conforto térmico proporcionado pela baixa condutividade da madeira, já destacado por autores como Anastácio (2010), foi comprovado na obra, garantindo ambientes internos mais estáveis e com menor necessidade de climatização artificial. A literatura também discute a sustentabilidade, o baixo impacto ambiental e o alto desempenho estrutural da madeira engenheirada, características igualmente presentes no projeto, que utilizou madeira de reflorestamento, integrou materiais locais e reduziu emissões associadas à construção. Dessa forma, a Fazenda Canuanã consolida, na prática, os benefícios técnicos, ambientais, logísticos e estruturais atribuídos à madeira engenheirada, demonstrando seu potencial e seu desempenho em aplicações de grande escala na construção civil brasileira.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar o desempenho e potencialidades do uso da madeira engenheirada na construção civil brasileira, fazendo uma comparação com materiais tradicionais utilizados, como concreto e aço, sob os aspectos estruturais, econômicos e ambientais. Por meio da revisão bibliográfica e do estudo de caso da Fazenda Canuanã, verificou-se que a madeira engenheirada apresenta desempenho competitivo frente aos materiais convencionais mencionados, destacando-se pela leveza, possibilidade de pré-fabricação, eficiência térmica e pela significativa redução nas emissões de carbono durante o ciclo de vida do material.

Em resposta à pergunta central do trabalho, conclui-se que a madeira engenheirada se mostra competitiva por aliar resistência, sustentabilidade e eficiência construtiva, podendo alcançar desempenho equivalente ou superior ao concreto e aço quando aplicada em projetos bem planejados e executados, já que um projeto com essas características é essencial para garantir a durabilidade, segurança e desempenho estrutural adequado.

No Brasil, verificou-se que o concreto continua sendo amplamente utilizado por sua resistência, durabilidade, baixo custo inicial e facilidade de acesso, sendo ideal em obras que priorizam estabilidade e acessibilidade econômica, ainda que apresente elevado impacto ambiental. O aço por sua vez, destaca-se pela elevada resistência e precisão estrutural, sendo adequado a projetos que exigem desempenho técnico e rapidez, apesar de possuir custo e consumo energético maiores. Por outro lado, a madeira é adequada para projetos que buscam sustentabilidade, rapidez de execução e conforto térmico, desde que haja planejamento e mão de obra qualificada, representando uma alternativa moderna e ambientalmente responsável.

A análise também permitiu observar que tanto o MLC quanto o *wood frame*, caracterizados como materiais de ampla utilização no mercado da construção civil, apresentam potencial competitivo em termos estruturais, ambientais e de eficiência de obra, apesar de suas limitações, como a utilização de adesivos importados no caso do MLC e necessidade de mão de obra especializada tanto na concepção quanto na montagem da obra. O MLC demonstra desempenho especialmente elevado em edificações de maior porte, enquanto o *wood frame* se destaca como solução rápida,

industrializada e economicamente viável, o que confirma o que a literatura já apresenta e demonstra a aplicabilidade de ambos os sistemas em diferentes escalas de construção.

Durante o desenvolvimento deste estudo, verificou-se ainda uma dificuldade significativa em encontrar trabalhos acadêmicos que apresentassem comparações diretas, consistentes e equivalentes entre madeira engenheirada, concreto e aço não apenas no contexto brasileiro como também mundial. A maior parte das publicações analisa cada material de forma isolada ou apresenta comparações qualitativas, sem métricas uniformes de desempenho, custo e impacto ambiental. Essa limitação evidencia que a produção científica brasileira sobre o tema ainda está em fase de consolidação.

Apesar de seu grande potencial de expansão no Brasil, a madeira engenheirada ainda enfrenta barreiras culturais relacionadas ao custo, durabilidade e falta de familiaridade com o setor construtivo. Superar esses desafios depende principalmente da difusão de conhecimento técnico, formação de profissionais e do incentivo a políticas públicas que estimulem o uso de matérias sustentáveis para solucionar esta problemática no país. Além da necessidade de promover a difusão das vantagens trazidas pela madeira quando utilizadas na construção.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a análise da viabilidade econômica da madeira engenheirada em diferentes escalas de construção, bem como seus desempenhos térmico e acústico, além da avaliação completa de seu ciclo de vida. Esses estudos poderão contribuir para consolidar a madeira engenheirada como uma alternativa estrutural sólida, sustentável e plenamente integrada à realidade da construção civil brasileira.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSEN, Rune. Mjøstårnet: construction of an 81 m tall timber building. In: **INTERNATIONALES HOLZBAU-FORUM (IHF)**, 2017, Garmisch-Partenkirchen. Anais [...] Moelven Limtre AS, Moelv, 2017. Disponível em: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/mjostarnet/mjostarnet---construction-of-an-81-m-tall-timber-building_presentation.pdf. Acesso em: 06 out. 2025.

AFLALO, M. **Madeira engenheirada**. In: OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; BRAZOLIN, Sérgio (org.). A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira. São Paulo: FAUUSP, 2023. Cap. 5, p. 97–125.

AGÊNCIA GOV. **Censo 2022: um em cada cinco brasileiros mora em domicílio alugado**. Agência Gov, 12 dez 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202412/censo-2022-um-em-cada-cinco-brasileiros-mora-em-domicilio-alugado>. Acesso em: 10 set. 2025.

ALMEIDA, A. C. DE; SILVA, R. D.; MOURA, J. D. DE M. **Wooden building systems: imminent growth or exponential problem?** Concilium, v. 23, n. 10, p. 381–390, 2023.

ALMEIDA, J. E.; CANEPPELE, L. B.; SCABENI, L. S.; SANTOS, S. S.. Painéis de vedação, comercializados no estado de Mato Grosso, para sistemas construtivos leves – o panorama apresentado pela falta de adequadas informações. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA – EBRAMEM**, 18., 2025, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: UFPR 2025. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ebramem18/1059737-PAINEIS-DE-VEDACAO-COMERCIALIZADOS-NO-ESTADO-DE-MATO-GROSSO-PARA-SISTEMAS-CONSTRUTIVOS-LEVES--O-PANORAMA-APRE>. Acesso em: 01/10/2025

ANASTÁCIO, R. S. Alberto. Especificação de proteção fogo para estruturas de madeira, **Dissertação de Mestrado de especialização em construções civis**. Porto:

Universidade do Porto, 2010.

ARAÚJO, V. A. de. **Engenharia e madeira: estudo sobre sistemas construtivos e edificações de múltiplos andares em madeira maciça no Brasil**. 2018. 342 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-22032018-113405/publico/Victor_Almeida_de_Araujo_versao_revisada.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.

ARELLANO, M.. **Usos da madeira na arquitetura contemporânea do México**. Traduzido por: Romullo Baratto. ArchDaily Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1007564/usos-da-madeira-na-arquitetura-contemporanea-do-mexico>. Acesso em: 15 out. 2025.

ASDRUBALI, F.; FERRACUTTI, B.; LOMBARDI, L.; GUATTARI, C; EVANGELISTI, L.; GRAZUESCHI, G.. **A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications**. Building and Environment, v. 114, p. 307–332, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS (ABRAINC). **Relatório Anual 2021**. São Paulo: ABRAINC, 2021. Disponível em: <https://abrainc.org.br>. Acesso em: 6 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190:2022**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.

AZAMBUJA, M. dos A.. **Estudo experimental de adesivos para a fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-145050/>. Acesso em: 31 out. 2025.

BEGUM, K.; ISLAM, M. A. **Natural fiber as a substitute to synthetic fiber in polymer composites: A review**. Research Journal of Engineering Sciences, v. 2, p. 46–53, 2013.

BERRIEL, A.. Arquitetura de Madeira: reflexões e diretrizes de projeto para a concepção de sistemas e elementos construtivos. 2009. 363p. **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

BITTENCOURT, R. M.. **Concepção Arquitetônica da Habitação em Madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BURGER, L. M.; RICHTER, Hans Georg. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

Caixa Econômica Federal. SINAPI – **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 23 nov. 2025.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Barueri: Manole, 2003.

CAMELO, Y. M.; VASCONCELOS, P. G.; GUIMARÃES, S. T. Uma abordagem multidisciplinar sobre planejamento sustentável: o caso da Escola-Morada da Fazenda Canuanã em Tocantins. In: **9º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL – PLURIS 2021**, 9., 2021, Digital. Anais...

CAMPBELL, A.. **Mass timber in the circular economy: paradigm in practice?** Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, v. 172, n. 3, p. 141-152, maio 2019.

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F.. **Uma visão**

sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 661–671, jan. 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000300033. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/g9LMKTVzkCkFWHj5NJ9XGwv/?lang=pt>. Acesso em: 01 dez. 2025.

CARDOSO, L. A.. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

CARLQUIST, S.J. **Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood.** 2001.

CASAGRANDE, Tatiana Gabriela; PIENIAK, Gabrielle Lima; BOMBONATO, Fabiele Aparecida. Obras arquitetônicas em madeira. In: **ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL**, 12., 2014, Assis. Anais..., 2014. p. 3–4. Disponível em: <https://www.fag.edu.br/upload/ecci/anais/55953b2602316.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.

CAZEMIER, D. S. Comparing cross laminated timber with concrete and steel: a financial analysis of two buildings in Australia. In: **MODULAR AND OFFSITE CONSTRUCTION SUMMIT & THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION TECHNOLOGY (MOC Summit)**, 2017. Proceedings [...]. Shanghai, China. 2017. DOI: 10.29173/mocs63. Disponível em: <https://journalofindustrializedconstruction.com/index.php/mocs/article/view/63>. Acesso em: 01 agosto 2025.

CONCU, G.. **Introductory Chapter: Timber and Sustainability in Construction.** In: IntechOpen. Timber Buildings and Sustainability. London: IntechOpen, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90079>.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A.. **O concreto como material de construção.** Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 49-58, out. 2013.

COVER, J.. **Mass Timber: The New Sustainable Choice for Tall Buildings.**

International Journal of High-Rise Buildings. v. 9, n. 1, 2020.

DE OLIVEIRA, M. L. G.; GENTIL, B. G.. Desenvolvimento sustentável: em busca de um conceito. **Revista Binacional Brasil Argentina: diálogo entre as ciências**, Bahia, v. 14, n. 2, p. 255-268, Dez 2024. Disponível em link: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/rbba/article/download/15145/9058/5313>. DRYSD

DRYSDALE, D.. **An Introduction to Fire Dynamics**. 3ª edição. Edimburgo, Escócia: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

Ecoagile Solução Construtiva. **Steel-frame custo**. Disponível em: <https://ecoagilesolucaoconstrutiva.com.br/steel-frame-custo/>. Acesso em: 23 nov. 2025.

FARAH, M.; MAIA, M.. **Fábrica Dengo**: projeto comercial. São Paulo: Matheus Farah e Manoel Maia Arquitetura, 2020. Disponível em: <https://mfmm.com.br/project/dengo>. Acesso em: 25 maio 2025.

FARIAS, D. T.; MELO, R. R. **Caracterização macroscópica da madeira de cinco espécies da Caatinga**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5614>. Acesso em: 22 maio. 2025.

FERRARI, A. M. W.. **A utilização de madeira nativa para exploração comercial sustentável no setor de construção civil: a possibilidade da Araucaria angustifolia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Curitiba, Programa de Pós- Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2011.

FINOTTI, L.; OHTAKE, T. Moradias Infantis Canuanã: projeto arquitetônico para a Fundação Bradesco. São Paulo: Rosenbaum e Aleph Zero, 2017. Disponível em: <https://rosenbaum.com.br/escritorio/projetos/moradias-infantis-canuana/>. Acesso em:

25 out 2025

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global Forest Resources Assessment 2025**. Roma: FAO, 2025. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2dee6e93-1988-4659-aa89-30dd20b43b15/content/FRA-2025/forest-extent-and-change.html#forest-area>>. Acesso em: 02 nov 2025.

FRECHETTE, L. A. **Build Smarter with Alternative Materials**. Carlsbad: Craftsman Book. Company, 1999. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=U9GI4w62n18C&pg=PA87&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 8 set. 2025.

FREITAS, G. de ; MAZZARDO, S. C.. Uso de madeira laminada colada (mlc) em atividades de construção civil: histórico e potencialidades. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE)**, [S. l.], p. e28779, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/28779>. Acesso em: 4 out. 2025.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. **Influência do sítio nas propriedades da madeira de Pinus caribaea var. hondurensis**. Cerne, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

GOING GREEN BRASIL. **Projeto Moradias Infantis no Tocantins leva prêmio internacional de arquitetura**. Going Green Brasil, 21 nov. 2018. Disponível em: <https://goinggreen.com.br/projeto-moradias-infantis-no-tocantins-leva-premio-internacional-de-arquitetura/>. Acesso em: 22 out. 2025.

GUO, H.; LIU, Y.; CHANG, W.-S.; SHAO, Y.; SUN, C. **Energy saving and carbon reduction in the operation stage of cross laminated timber residential buildings in China**. Sustainability, Basel, v. 9, n. 2, p. 292, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9020292>.

HASAN, Z. G.. **Maior arranha-céu de madeira do mundo é concluído em Vancouver** [trad. Vinicius Libardoni]. ArchDaily Brasil, 20 set. 2017. Acesso em: 5 out 2025. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/879671/maior-arranha-ceu-de-madeira-do-mundo-e-concluido-em-vancouver>.

HOADLEY, R. B.. **Identifying wood: accurate results with simple tools**. Newtown, CT: The Taunton Press, 1990. ISBN 978-0-942391-04-6.

HSIAO, L. H.; PRATA-SHIMOMURA, A.; GONÇALVES, J. C. S.; RODRIGUES, L.; KIAMBA, L.; KNEBEL, N.. Desempenho ambiental das moradas infantis Canuanã – Fundação Bradesco, em Formoso do Araguaia, Tocantins. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., 12., 2021, Palmas. Anais... Palmas: ANTAC, 2021.

ILG, T.. **Madeira engenheirada na arquitetura brasileira: uma abordagem tectônica**. 2021. Trabalho Final de Graduação (Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual Ibá 2021**. Brasília: Ibá, 2021. Disponível em: <https://twosides.org.br/wp-content/uploads/sites/15/2022/01/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 9 set. 2025.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual 2022**. Brasília, DF: Ibá, 2022. Disponível em: <https://iba.org>. Acesso em: 20 ago. 2025.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2024**. Brasília: Ibá, 2024. Disponível em: <https://iba.org>. Acesso em: 16 set. 2025.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2025**. Brasília: IBÁ, 2025. Disponível em: <https://iba.org/>. Acesso em: 14 out. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT. Disponível em:

<<https://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/manualUsodaMadeira.pdf>>.

Acesso em: 03 de agosto de 2025.

ITA ENGENHARIA. Moradias Infantis. [S.l.]: **ITA Engenharia em Madeira**, 2015. Disponível em: <https://www.itaengenharia.com/projetos-de-construcao-com-estrutura-em-madeira/moradias-infantis/>. Acesso em: 15 out. 2025.

JOHN, S.; NEBEL, B.; PEREZ, N.; BUCHANAN, A.H.. **Environmental Impacts of Multi-Storey Buildings Using Different Construction Materials**. Christchurch: University of Canterbury; Scion; Victoria University of Wellington; Ministry of Agriculture and Forestry, 2008.

KLOCK, U. ; ANDRADE, A. S. de. **Química da madeira**. 4. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2013.

KOK, C.; FRANÇA, G.; RUDGE, L.; GIRARDI, L.; SOARES, M. C.; CALIXTO, M.; LIESEGANG, M.; SABOYA, P.; TRAMA, T.; SILBERFELD, V.; KACELNIK, V..

Moradas Infantis em Canuanã: encontro entre arquitetura vernacular e tecnologias industriais. ArchDaily Brasil, 13 ago. 2022. Disponível em:

<https://www.archdaily.com.br/br/985951/moradas-infantis-em-canuana-encontro-entre-arquitetura-vernacular-e-tecnologias-industriais>. Acesso em: 15 out. 2025.

KREMER, P. D.; RITCHIE, L. **Understanding Costs and Identifying Value in Mass Timber Construction: Calculating the ‘Total Cost of Project’ (TCP)**. Mass Timber Construction Journal, v. 1, 2018.

LATTKE, F.; LEHMANN, S.. **Multi-Storey Residential Timber Construction: Current Developments in Europe**. Journal of Green Building, v. 2, n. 1, p. 119-129, fevereiro 2007. DOI: 10.3992/jgb.2.1.119.

LEHNE, J; PRESTON, F. **Making concrete change. Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**, 2018.

LEITE, T. M.; SANTOS, P. A. F. M.; VALLE, I. M. R. Do. **O Uso da Madeira Laminada Colada no Brasil: Panorama e Desafios**. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2017.

LEMONS, C. A. C. **Transformações do espaço habitacional ocorridos na arquitetura brasileira do século XIX**. Anais do Museu Paulista Nova Série NQ1 1993.

LIPPKE, B.; WILSON, J.; PEREZ-GARCIA, J.; BOWYER, J.; MEIL, J., et al. **Life-cycle environmental performance of renewable building materials**. Forest Products Journal, 54(6), 7-13, 2004.

LOEWUS, Frank A.; RONECKLES, V. C. (ed.). **The structure, biosynthesis, and degradation of wood**. 1. ed. New York: Springer, 1977. (Recent Advances in Phytochemistry, v. 11)

LOPES, E. C. A.. **Tecnologias sustentáveis em obras de pequeno e médio porte – custos, vantagens e desvantagens no uso de wood frame**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2013.

LYONS, A.. **Materials for architects & builders**. 4. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2010.

MAGNI, Camillo. **Collegio Fondazione Bradesco – Fazenda Canuanã, Brasile**. Casabella, Milão, n. 877, p. 27–35, set. 2017.

MARQUEZ, A.. **Um lugar para aprender e morar**. Galeria da Arquitetura, 2018. Disponível em: < https://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/aleph-zero_/moradias-infantis/4647>. Acesso em: 15 out. 2025.

MARTINI, S. Madeira engenheirada, **Revista opiniões**, São Paulo, 2013.

MFMM ARQUITETURA. Fábrica Dengo / Matheus Farah + Manoel Maia Arquitetura. São Paulo: MFMM, 2020. Fotografias: Fran Parente. Disponível em: <https://mfmm.com.br/project/dengo>. Acesso em: 16 out. 2025.

MIRANDA, M. J. A. C. ; BRAZOLIN, S.. Produção da madeira no Brasil In: OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; BRAZOLIN, Sérgio (orgs.). **A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira**. São Paulo: Editora LEUD, 2023. Cap. 2, p. 41–55.

MIRANDA, M. J. A. C. ; YOJO, T. ; SOUZA, C. O.. O que é madeira? In: OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; BRAZOLIN, Sérgio (orgs.). **A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira**. São Paulo: Editora LEUD, 2023. Cap. 1, p. 17–39.

MOLINA, C. J; CALIL, J. C. **Sistema Construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143 - 156, 2010.

MOLOSSI, A. C. A.; SILVA, Ricardo Dias; MOURA, Jorge Daniel de Melo. Componente construtivo sustentável para ligações em estruturas de madeira. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA (EBRAMEM)**, 18., 2025, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: 2025.

MORALES, G.; CAMPOS, A. ; FAGANELLO, A. M. P.. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47–55, jan./mar. 2011.

MORESCHI, J. C.. **Propriedades tecnológicas da madeira**. 3. ed. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2010.

OLGA, H.. Introdução. In: OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; BRAZOLIN, Sérgio (orgs.). **A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira**. São Paulo: Editora LEUD, 2023. p. 11–13.

OLIVEIRA, G. L.. **Estruturas de madeira engenheirada: a concepção arquitetônica orientada à racionalização do processo construtivo**. 2023. 252 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 1980.

PAULI, B. A. AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos; OLIVEIRA NETO, de Luttgardes. Madeira lamelada colada: Potencial em edificação, da graduação à industrialização. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v.9, n.24, 2021.

PEUPORTIER, B. L. P. **Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context**. Energy and Buildings, v. 33, n. 5, p. 443-450, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00101-8).

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do Concreto e Projeto de edifícios**. São Carlos: EESC-USP, maio de 2007.

PIMENTA, E.M. et al. Planting spacing influences radial variation of basic density and chemical composition of wood from fast growing young Eucalyptus plantations. **Holzforschung**. 2023.

POMPONI, F.; HART, J.; AREHART, J. H.; D'AMICO, B.. **Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits**. One Earth, v. 3, n. 2, p. 157–161, 21 ago. 2020.

PORTO, A. L. G.; Demarzo, M. A.. Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeira de Reflorestamento na Construção Civil. **Revista Madeira Arquitetura & Engenharia**, São Carlos, 21. ed., n. 8, 2017.

REMADE. **Retratibilidade da madeira**. Revista da madeira, n.59, 2001. Disponível em: https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject. Acesso em 27/06/2025.

RMOHAMMADI, M.; LEGGATE, W.; REDMAN, A.. **Effects of moisture ingress and egress on the performance and service life of mass timber products in buildings: a review**. Construction and Building Materials, [S.L.], v. 290, p. 123176, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123176>.

SENAI-PR. **Construção inteligente: como a madeira engenheirada está transformando o setor**. Curitiba: SENAI-PR, 21 fev. 2025. Disponível em: <https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/blog/construcao-inteligente-como-a-madeira-engenheirada-esta-transformando-o-setor-1-36287-493041.shtml>. Acesso em: 10 set. 2025.

ROSENBAUM; A. Z.. **Moradas Infantis Canuanã – Fundação Bradesco**. [S.l.]: Rosenbaum, 2017. Disponível em: <https://rosenbaum.com.br/escritorio/projetos/moradas-infantis-canuana/>. Acesso em: 15 out. 2025.

ROTH, C. das G.; MELLO, C. G.. **Construção civil e a degradação ambiental**. Desenvolvimento em Questão, v. 7, n. 13, p. 111-128, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75212355006>. Acesso em: 22 maio 2025.

SANBORN, K.; GENTRY, T. R.; KOCH, Z.; VALKENBURG, A.; CONLEY, C.; STEWART, L. K.. **Ballistic performance of Cross-laminated Timber (CLT)**. International Journal of Impact Engineering, v. 128, p. 11–23, 2019.

SANDANAYAKE, M.; LOKUGE, W.; ZHANG, G.; SETUNGE, S.; THUSHAR, Q.. **Greenhouse gas emissions during timber and concrete building construction: A scenario based comparative case study**. Sustainable Cities and Society, v. 38, p. 91-97, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.017>.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. de. **Steel framing: arquitetura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil; Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, 2012.

SEBRAE. **O que significa o termo “Steel Frame” no setor de construção civil?** Atualizado em 21 dez. 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-significa-o-termo-steel-frameno-setor-de-construcao-civil,5fa77197e7b05810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 8 set. 2025.

SHIGUE, E. K.. **Difusão da construção em madeira no Brasil: agentes, ações e produtos**. Versão corrigida. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. (Ocorrência anterior removida)

SHIRMOHAMMADI, M.; LEGGATE, W.; REDMAN, A.. **Effects of moisture ingress and egress on the performance and service life of mass timber products in buildings: a review**. Construction and Building Materials, [S.L.], v. 290, p. 123176, jul. 2021. Elsevier. BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123176>.

SILVA, C. E. S. da; PACE, J. H. C.; GOMES, F. J. B.; CARVALHO, P. C. L. de; REIS, C. de A.; LATORRACA, J. V. F.; ROLIM, S. G.; CARVALHO, A. M. de.. **Comparison between Resistograph Analysis with Physical Properties of the Wood of Brazilian Native Tree Species**. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n.1, e20190052, 2020.
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.005219>. (Aparece duas vezes, mantive a primeira ocorrência).

SILVA, C. P. da; JOÃO, Francisco Rocha; PERRONE, Rafael Antônio Cunha. **Moradas Infantis de Canuanã: reflexões sobre a arquitetura e o lugar**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2238-5037.20210005>. Acesso em: 15 out. 2025.

SILVA, F. B. ; CARVALHO, M.; FORTES, G.; OLIVEIRA, C. G. de; MENEGHETTI, L. C.; JOHN, V. M.; FRANÇA, R. L. S.. **Beams unlock large carbon savings in reinforced concrete structures**. Structures, v. 79, p. 109427, 2025.

SILVA, J. C.. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Viçosa DEF/UFV. 140 p. 2005.

SILVA, M. L. J. S.; CALIL NETO, C.; MOLINA, J. C.. Painel misto lamelado colado - PMLC: comportamento estrutural e estudo de mercado. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA – EBRAMEM**, 18., 2025, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: Curitiba. Anais [...]. Curitiba: UFPR 2025. Disponível em:

<https://www.even3.com.br/anais/ebramem18/1059737->

<https://www.even3.com.br/anais/ebramem18/934117-painel-misto-lamelado-colado---pmlc--comportamento-estrutural-e-estudo-de-mercado/>. Acesso em: 05/10/2025.

SPICER, R. Senescence in secondary xylem: heartwood formation as an active developmental program. In: **Vascular transport in plants**. HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A. (eds). 2005.

SOUZA JÚNIOR, T. F. de. **Estruturas de concreto armado: notas de aula**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, (2003). Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>. Acesso em: 15 maio 2025.

STÜPP, Â. M. R., SOUZA, A., SCHWEITZER, V. R. Estruturas em wood frame: propriedades físicas e mecânicas da madeira e métodos não destrutivos. In: **SEMANA DE APERFEIÇOAMENTO EM ENGENHARIA FLORESTAL DA UFPR**, 2., 2018, Curitiba. Anais [...] . Curitiba: CIFLOMA, 2018.

THE CONSTRUCTOR. **Laminated Veneer Lumber (LVL) as a Construction Material** [imagem]. Disponível em: URL. Acesso em: 13 ago. 2025.

TIMPONI, R. R.. **Análise do processo de manutenção para estruturas em madeira laminada colada: estudo de caso em Brasília**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UNICEUB, Brasília, 2017.

TREVISAN, R.. **A maior construção de madeira da América Latina fica no Brasil**. Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, Curitiba, 2017.
<Disponível em: <https://apreflorestas.com.br/noticias/a-maior-construcao-de-madeira-da-america-latina-fica-no-brasil-e-temos-muito-a-comemorar/>> Acesso em: 15 out. 2025.

UTRABO, G.. **Moradas Infantis - Canuanã**. Estúdio Gustavo Utrabo, 2021. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/omitida>. Acesso em: 27 set. 2021.

UNEP – United Nations Environment Programme; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION (GlobalABC). **Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall**. Nairobi: UNEP, 2025. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>. Acesso em: 19 nov. 2025.

VAIRO, M.. **Sobre o comportamento dos painéis de CLT em situação de incêndio**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-16082023-090137/publico/MaurizioVairoCorr22.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

VISSOTTO JUNIOR, A. C.. **Casa do Butantã: uma releitura em pré- fabricados de madeira**. 2022. Monografia (Especialização em Arquitetura em Madeira: Projeto e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2022.

THINK WOOD. **T3: Timber, Transit, Technology**. [S.l.]: Think Wood, 2025. Disponível em: <https://www.thinkwood.com/construction-projects/t3-timber-transit-technology>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WWF BRASIL; SINDUSCON-SP. **Aquisição responsável de madeira na construção civil: guia prático para as construtoras**. São Paulo: WWF Brasil, 2011.