



RÊMULO LOPES DE ASSIS LIMA

O SISTEMA CONSTRUTIVO CLT NO BRASIL

LAVRAS - MG

2023

RÊMULO LOPES DE ASSIS LIMA

O SISTEMA CONSTRUTIVO CLT NO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Civil, para a
obtenção do título de bacharel.

Aprovado em 12 de dezembro de 2023.


Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Engenharia de Estrutura
DEG / UFLA

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo

Orientador

LAVRAS – MG

2023

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre o *Cross Laminated Timber* (CLT) abordando tópicos pertinentes sobre este material, utilizando-se de revisões bibliográficas de diferentes autores, estudos de casos, normas técnicas e obras reais. Primeiramente foi feita uma contextualização sobre a madeira engenheirada e os aspectos sociais e ambientais envolvidos, correlacionando-se com o CLT, além de citar sua origem. Posteriormente, abordaram-se os sistemas construtivos no Brasil e introduz-se o CLT: o que é, como é produzido, transportado e montado, desempenho estrutural e energético, aplicações no cenário nacional, sua precificação, normas técnicas e *softwares* empregados, e, finalizando, o cenário brasileiro e suas perspectivas futuras. Diante das informações apresentadas, chegou-se à conclusão que o CLT pode ser uma solução viável de sistema construtivo para o Brasil.

Palavras chave: Madeira engenheirada, sistema construtivo, construções em madeira, mercado Brasileiro, edificações eficientes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Painel de CLT fabricado em 5 camadas	9
Figura 2 – Painel em CLT sendo movimentado na indústria	11
Figura 3 – Emenda Finger-Joint.....	12
Figura 4 - Etapas do processo de Fabricação do CLT	12
Figura 5 - Instalação de um painel CLT	15
Figura 6- Conexões em painéis CLT	16
Figura 7 - Edifício <i>Tallwood</i>	18
Figura 8 - Painéis de amostra do ensaio realizado por De Sousa (2023).....	19
Figura 9 - Residência em Cajamar (Lajes de piso e cobertura com CLT)	20
Figura 10 - Residência em Itu (lajes de piso e cobertura de CLT)	21
Figura 11 - Escola em São Paulo (Lajes de cobertura em CLT).....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento das edificações em CLT no Brasil.....	22
Tabela 2 - Continuação tabela Levantamento das edificações em CLT no Brasil.....	23
Tabela 3 - Conclusão tabela Levantamento das edificações em CLT no Brasil.	24
Tabela 4 - Comparativo de Mão de obra	26
Tabela 5 - Materiais e equipamentos	26
Tabela 6 - Leis sociais e benefícios e despesas indiretas.....	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Contextualização	6
1.2 Objetivo	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Sistemas construtivos.....	8
2.2 O que é <i>Cross Laminated Timber</i> (CLT).....	9
2.2.1 Matéria Prima.....	10
2.2.2 Fabricação dos Painéis	10
2.2.3 Pós Fabricação de um painel CLT	14
2.2.4 Desempenho estrutural e resistência	16
2.3 Desempenho Energético.....	19
2.4 Aplicações do CLT no Brasil.....	20
2.5 Consumo e precificação	25
2.6 Normas Técnicas	28
2.7 Softwares empregados.....	29
2.8 Desenvolvimento da Indústria no brasil.....	30
2.9 Perspectivas futuras.....	30
3. CONCLUSÃO	31

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Um dos desafios contemporâneos das sociedades é promover desenvolvimento econômico com reduzido dano ambiental. Como um dos setores produtivos que mais geram impactos ao meio ambiente, a construção civil tem buscado promover técnicas e materiais que possam reduzir efeitos negativos onde atua. Assim, o uso da madeira em edificações, na forma de produtos engenheirados, ganha impulso.

Desde que a pauta global trata do tema sustentabilidade, há a busca por processos em todo os meios de produção que sejam menos agressivos ao meio ambiente, nos setores primários, secundários e terciários, e isso se aplica à construção civil.

No século XX, as estratégias econômicas concebidas com a intenção de melhorar o bem-estar da sociedade geraram uma reflexão sobre seus resultados ao longo do tempo. Além de não alcançar o crescimento esperado nos indicadores sociais, esse processo também acarretou consequências ambientais que, em última análise, afetam a população de maneira direta ou indireta (COLLINETTI,2016). A construção civil é um setor diretamente associado ao desenvolvimento econômico, e que gera um passivo ambiental que pode ser danoso ao planeta, como os resíduos sólidos de obras mal destinados. Nos tempos atuais, alternativas para técnicas tradicionais de construção são buscadas para contribuir com uma eficiência sustentável, e neste cenário, pode-se citar os sistemas que empregam o *Cross Laminated Timber* (CLT).

Segundo Almeida (2020), o sistema construtivo conhecido como *Cross Laminated Timber* (CLT) teve seu surgimento na década de 1990, tendo sua origem em Zurique, Suíça. Em seguida, foi aprimorado na Áustria por meio de uma colaboração entre a *Graz University of Technology* e a empresa KLH Massivholz GmbH. No Brasil, o emprego dessa tecnologia iniciou-se em meados de 2012 (OLIVEIRA,2018) e ainda é um sistema pouco utilizado no país quando comparado aos que empregam concreto armado e aço. Apesar do setor de construção civil se caracterizar por desafios como custos elevados, planejamento insuficiente, mão de obra pouco qualificada e desperdício excessivo, o mesmo autor retro citado menciona que é possível o Brasil implementar essa tecnologia, sobretudo devido a sua disponibilidade de matéria-prima.

O *Cross Laminated Timber* (CLT) é um painel de madeira maciça que consiste em lamelas de madeira coladas perpendicularmente umas às outras, criando um painel estrutural robusto. Esse material é considerado uma madeira engenheirada, composta por, no mínimo, três

camadas de madeira serrada coladas entre si. Cada camada é disposta em ângulo reto em relação à camada adjacente, conferindo ao CLT uma notável resistência e estabilidade dimensional. Pode ser usado em lajes e paredes estruturais, com ou sem acabamentos, com etapas de montagem rápidas, sem desperdícios, e com potencial de aplicabilidade em vários tipos de edificações brasileiras.

Assim, este trabalho trata de um levantamento de informações acerca do CLT, numa investigação bibliográfica de dados considerados relevantes para a aplicação do material em técnicas construtivas em nível nacional.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre o sistema construtivo CLT, abordando sua definição, origem, composição, vantagens e desafios, exemplos de estruturas, consumo de material, e como o mesmo tem sido utilizado no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico são elencados aspectos importantes e relevantes para o entendimento do trabalho, incluindo contextualizações com temas semelhantes e uma análise sobre o sistema construtivo *Cross Laminated Timber* no Brasil.

2.1 Sistemas construtivos

No Brasil, existe uma diversidade de sistemas construtivos, refletindo a riqueza de suas influências históricas, geográficas e econômicas do país. Desde as técnicas tradicionais de construção até as inovações contemporâneas, o país testemunhou uma gama de abordagens na construção civil, dentre eles:

- Taipa de pilão: técnica tradicional que compacta terra argilosa para criar paredes sólidas;
- Alvenaria estrutural: utiliza tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, sendo amplamente empregada em construções residenciais e comerciais, onde as paredes de suportam cargas verticais e horizontais, eliminando a necessidade de estruturas de concreto armado;
- Concreto armado: combinação de concreto com barras de aço amplamente usado em edifícios e pontes.

Devido à necessidade de redução de custos na construção, a busca por execução mais rápida, e a demanda por métodos construtivos que minimizem resíduos e usem recursos de forma mais eficiente, têm surgido novos sistemas construtivos. Estes sistemas propõem abordagens técnicas inovadoras para atender a essas demandas contemporâneas (BARBOSA,2017).

Juntamente com a implementação de tecnologias modernas, os sistemas construtivos contemporâneos estão alinhados ao princípio de baixo custo e impacto ambiental ao longo das várias etapas do ciclo de vida da construção. Isso se traduz em uma busca pela redução do tempo necessário e na otimização do uso de matérias-primas.

Os sistemas construtivos mais sustentáveis são adequados tanto para edifícios residenciais quanto para prediais, enfocando técnicas que promovem a racionalização e a execução de obras mais ecologicamente conscientes, tanto em termos operacionais quanto no que diz respeito aos materiais utilizados. Esses sistemas têm a capacidade de viabilizar construções com alta produtividade, custos reduzidos e padrões elevados de qualidade. Construções industrializadas que incorporam modulação e o uso de componentes pré-

fabricados alinham-se com os princípios dos sistemas construtivos sustentáveis. A racionalização da produção é alcançada por meio da utilização de elementos pré-fabricados em um sistema construtivo que integra as fases de projeto, fabricação e montagem no canteiro de obras, com responsabilidade técnica atribuída ao fabricante. Nesse tipo de construção, busca-se otimizar o uso de materiais, eliminando desperdícios e reduzindo perdas de recursos, resultando em maior eficiência na execução. Um desses métodos construtivos que vem ganhando destaque nesse cenário é o *Cross Laminated Timber (CLT)*.

2..2 O que é *Cross Laminated Timber (CLT)*

O *Cross Laminated Timber* pode ser definido como um painel de múltiplas camadas de madeira, dispostas perpendicularmente uma sobre a outra, unidas por um adesivo. Segundo Ecker *et al.* (2017), pode-se definir CLT como madeira engenheirada pré-fabricada, cuja montagem consiste na justaposição de pelo menos 3 camadas ortogonais de madeira lamelada serrada, intervaladas por adesivos estruturais afim de formar um sólido retangular. O painel de CLT pode ser formado por 3, 5 ou 7 camadas e podem ser utilizados como lajes, de piso ou cobertura, e usado para vedações, tanto internas quanto externas, podendo ou não ter uma função estrutural

A Figura 1 contém um painel de CLT fabricado com 5 camadas, onde os cruzamentos das lamelas podem ser perceptíveis pelo padrão alternado de cores escuras e claras.

Figura 1 - Painel de CLT fabricado em 5 camadas



Fonte: SkyCiv (2021)

As propriedades resistentes estão relacionadas com a sua composição interna maciça, composta pelas referidas lamelas cruzadas coladas, permitindo uma distribuição da carga de forma bidirecional. A elevada capacidade de carga, em conjunto com o reduzido peso próprio, permite elementos de elevada esbelteza, mesmo para vãos de grande dimensão. Em comparação com outros tipos de sistemas estruturais comumente usados na construção, este sistema oferece

novas possibilidades em termos de transferência de carga. Balanços e vãos livres podem ser projetados em diferentes direções, oferecendo novas possibilidades de design. Ao contrário dos sistemas em pórticos, em que as cargas são transmitidas predominantemente em fluxos unidirecionais, nas estruturas em painéis de CLT os elementos comportam-se como placas, sendo a transmissão da carga feita de forma bidirecional. O CLT também é reconhecido por sua estabilidade dimensional, pois a interseção das lamelas limita os movimentos higroscópicos da madeira diante das variações no teor de umidade (menos de 1% na direção das fibras e 2% na direção perpendicular às fibras). Para alcançar essa estabilidade, as lamelas que o compõe são cuidadosamente controladas quanto ao teor de umidade, mantendo-se aproximadamente em 12% ao saírem da fábrica, com variações entre 10% e 14% (COSTA,2013).

2.2.1 Matéria Prima

O Brasil é um grande cultivador de florestas. De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas (IBF,2020), o país alcançou a marca de 9,6 milhões de hectares de florestas plantadas em 2020, dentre elas 7,4 milhões de eucaliptos e 1,8 milhões de pinus. As madeiras oriundas de pinheiros (os pinus) são potencialmente indicadas para a composição de painéis CLT, por serem leves, facilmente trabalháveis e por receberem satisfatoriamente variados adesivos.

Inicialmente é feita a seleção da madeira, por meio de classificação visual e mecânica, seguindo os padrões técnicos exigidos pelas normas de controle e qualidade. Cada lamela passa por processo de secagem e verificação da umidade, de forma a garantir juntas coladas resistentes. Conforme destacado por Douglas e Karacabeyli (2013), no processo inicial, a madeira passa por um período de secagem em estufa, alcançando um teor de umidade padrão de $12\% \pm 3\%$. Dependendo do fornecedor, é comum que a madeira chegue à indústria já atendendo a essa especificação de secagem (MARCATTO, 2017).

Destaca-se que a qualidade das lamelas influencia diretamente no desempenho do produto final. Patologias, como delaminações na linha de cola, por exemplo, podem ser evitadas ao se empregar madeira em umidade adequada.

A partir de lamelas classificadas é que se promove a montagem dos painéis. De forma simplificada, pode-se dizer que lamelas mais resistentes dão origem a painéis mais resistentes.

2.2.2 Fabricação dos Painéis

O CLT pode ser considerado um material sustentável. Sua matéria prima é oriunda de florestas certificadas, plantadas, contribuindo para a redução dos desmatamentos ilegais. Além disso, durante o crescimento das árvores, pelo processo da fotossíntese há a absorção do dióxido

de carbono (CO₂) da atmosfera, e sua fixação na formação da madeira. Isso confere ao material a característica de armazenamento de carbono, o que pode contribuir para a redução da emissão desse elemento na atmosfera.

Um painel CLT sendo movimentado após o processo de fabricação pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Painel em CLT sendo movimentado na indústria



Fonte: Carpinteria Madeira Inteligente (2018)

As lamelas do painel podem ser adquiridas com ou sem tratamento de produto preservativo, sendo possível sujeitá-las a tratamento em autoclave ou deixá-las sem tratamento. De acordo com as categorias de uso definidas pela ABNT NBR 16143 de 2013 Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso (ABNT,2013), é necessário aplicar inseticida superficialmente nos painéis fabricados com matéria-prima não tratada, uma vez que eles não estão livres do ataque de insetos xilófagos. De acordo com Oliveira (2018), na produção nacional, é comum utilizar a técnica de pincelamento para aplicar inseticida oleossolúvel, como a cipermetrina, após o corte das peças, antes de carregá-las no veículo de transporte.

A conexão das lamelas ao longo de seu comprimento é efetuada por meio de uniões tipo “*finger-joints*” (Figura 3). Após atingirem o comprimento necessário para serem utilizadas em camadas transversais ou longitudinais, as lamelas emendadas passam por um processo de aplainamento para assegurar a planicidade da superfície e a uniformidade dimensional. As dimensões das lamelas são então padronizadas em 14 cm de largura por espessuras de 19 mm, 20 mm, 30 mm, 35 mm ou 40 mm. O comprimento pode variar, atingindo até 12,00 m para camadas longitudinais ou 3,00 m para camadas transversais (OLIVEIRA,2018).

Figura 3 – Emenda Finger-Joint

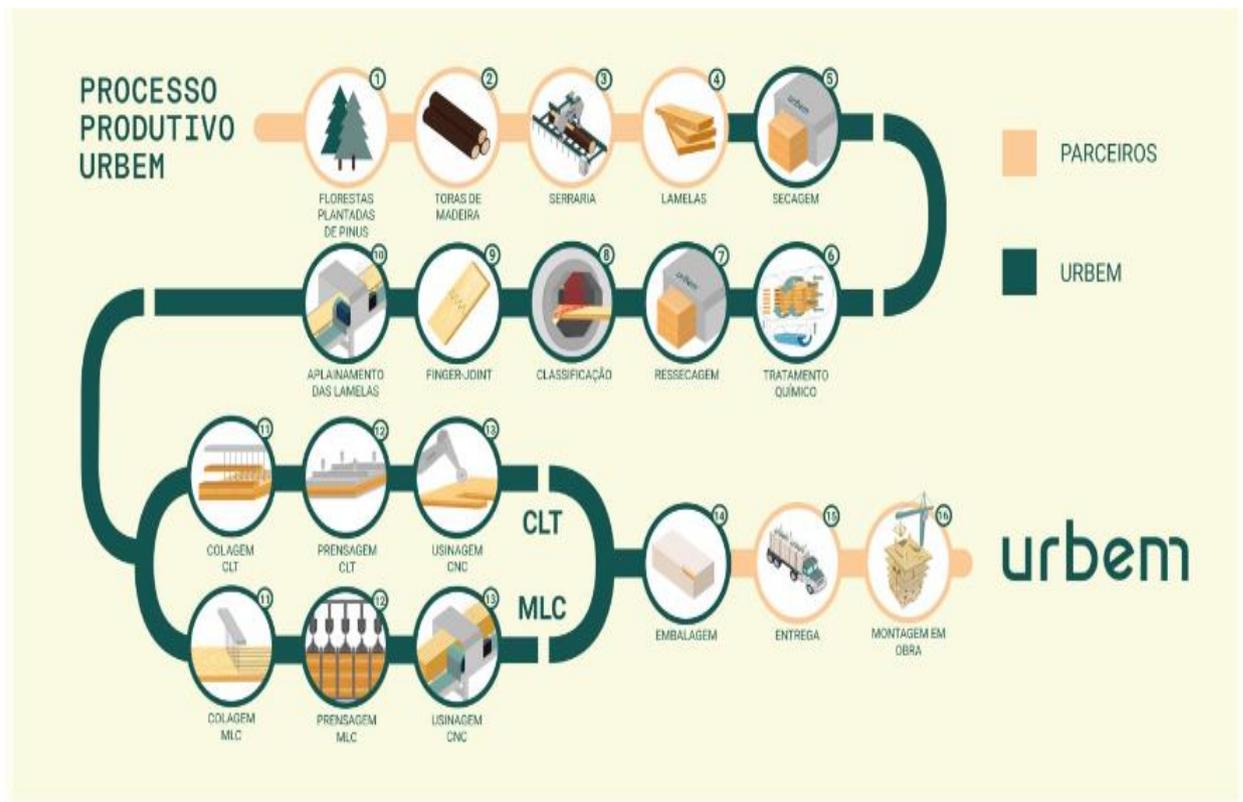


Fonte: Sviták et al. (2014)

Assim como qualquer outra tecnologia, a elaboração do projeto arquitetônico da edificação é de suma importância para o processo de fabricação dos painéis, levando em consideração todas as particularidades do componente construtivo.

A figura 4 demonstra um fluxograma de toda a etapa do processo de fabricação dos painéis de CLT de uma das fabricas nacionais.

Figura 4 - Etapas do processo de Fabricação do CLT



Fonte: Urbem (2020)

O CLT *Handbook* FPIInnovations (2011) apresenta um diagrama que ilustra de forma simples e didática as etapas da fabricação do CLT:

- 1- Seleção das peças
- 2- Organizar as lamelas
- 3- Aplainar lamelas
- 4- Destopar no comprimento
- 5- Aplicar adesivo
- 6- Montar painel
- 7- Prensagem
- 8- Acabamento, corte e controle de qualidade
- 9- Marcação, empacotamento e despacho.

No caso da seleção das peças, o processo já foi descrito no tópico 2.2.1. Segundo Pereira (2014), no processo de organização das lamelas, as partes orientadas na direção da aplicação da força principal no painel devem exibir características de resistência, rigidez ou módulos de elasticidade semelhantes. As áreas destinadas à instalação de ferragens ou parafusos para a conexão entre os painéis devem consistir em lamelas de qualidade superior, dada sua importância como pontos críticos na solicitação da estrutura. É possível ainda organizar as camadas superior e inferior do painel de forma a receber elementos que proporcionem um aspecto visual e estético mais agradável.

É indispensável realizar o aplainamento das lamelas antes do processo de colagem, a fim de remover a camada superficial de madeira oxidada. Essa prática possibilita a abertura dos poros da madeira, aprimorando a penetração do adesivo nas células e, conseqüentemente, a qualidade da colagem. No processo de aparar no comprimento, é feito o corte das peças de madeira na extensão dimensão da prensa, tanto para camadas longitudinais, quanto para camadas transversais. Em seguida, há a aplicação do adesivo por dispositivos conhecidos como coladeiras, os quais distribuem o adesivo de maneira contínua sobre as lamelas de madeira. A quantidade a ser aplicada varia de acordo com o tipo de adesivo e é comumente indicada pelo fabricante. É fundamental espalhar o adesivo de maneira uniforme sobre a peça, assegurando a obtenção da quantidade adequada de massa adesiva por unidade de área da madeira (g/m^2).

Na sequência, há a disposição das lamelas, colocando as camadas uma sobre as outras perpendicularmente, procedendo-se então à etapa de prensagem. As prensas hidráulicas são comumente empregadas nesta fase, embora haja a opção de utilizar prensas a vácuo com membranas flexíveis. No entanto, esse segundo tipo pode apresentar limitações de pressão, o que pode significar um não atendimento dos padrões recomendados pelos fabricantes de

adesivos. Além disso, pressão mais baixa pode não ser suficiente para controlar potenciais deformações nas camadas e corrigir irregularidades na superfície, comprometendo a eficácia do contato entre as peças de madeira. Ainda assim, é viável empregar tais prensas se as lamelas forem frisadas na parte inferior para aliviar as tensões internas após o aplainamento, facilitando o contato durante o processo de colagem (PEREIRA, 2014). Por último, para o corte dos painéis há a utilização de equipamentos de controle numérico computadorizado, os chamados tornos *CNC*, que proporcionam elevada precisão nas dimensões das peças, resultando em uma significativa diminuição de resíduos durante a execução da obra. Com esses equipamentos é possível realizar, ainda na fábrica, o corte de aberturas para portas e janelas, canaletas para passagem de eletrodutos e outras instalações prediais.

2.2.3 Pós Fabricação de um painel CLT

Após o seu processo de fabricação, há o processo de montagem do painel na obra. Por ser um material versátil, pode ser instalado de algumas formas.

A montagem de uma edificação em CLT pode ser considerada de 4 formas diferentes: inteiramente modular, parcialmente modular ou híbrida, parcialmente in loco ou inteiramente in loco. Na categoria inteiramente modular, incluem-se as construções que são compostas por um ou mais módulos, inteiramente fabricados, abrangendo tanto as esquadrias quanto os revestimentos e instalações. Caso tenha mais de um módulo, estes são transportados separadamente e conectados no local onde serão instalados. Na segunda categoria, parcialmente modular, os módulos fabricados em fábrica são associados a peças individuais de CLT. A expressão "parcialmente in loco" é empregada neste contexto para descrever a construção de edificações que consistem em elementos construtivos formados por mais de um painel em CLT, previamente conectados entre si, ou por peças de CLT que são associadas, nas instalações da fábrica, a outros sistemas construtivos. Para as montagens inteiramente in loco o, esquadrias, instalações hidráulicas e elétricas, revestimentos e acabamentos são realizados no local de instalação, após a montagem dos elementos construtivos em CLT. (OLIVEIRA,2018)

Em projetos de construção utilizando CLT, a precisão no corte e usinagem dos elementos construtivos é crucial. Esses elementos são numerados durante a fase de projeto, facilitando sua correta fixação no local durante a montagem. O planejamento detalhado é essencial para otimizar a logística de trabalhadores e cargas no canteiro de obras, considerando fatores como acesso, estrutura da edificação e equipamentos de montagem. A sequência de montagem é estabelecida, levando em conta o transporte dos elementos até o canteiro, com um Plano de Carga que considera quantidade, tamanho e viabilidade de armazenamento. A

determinação do veículo de transporte e o número de viagens são influenciados pela capacidade de carga específica e pela viabilidade de armazenamento no local (OLIVEIRA,2018).

Os componentes concluídos são posteriormente carregados em um veículo utilizando um guindaste para auxiliar na operação. Elementos com mínima ou nenhuma usinagem são colocados na posição horizontal, enquanto aqueles com extensa usinagem, como paredes contendo recortes para janelas e portas, são transportados na orientação vertical. (PASSARELLI, 2013).

Na figura 5 é possível observar um painel CLT sendo instalado em uma residência:

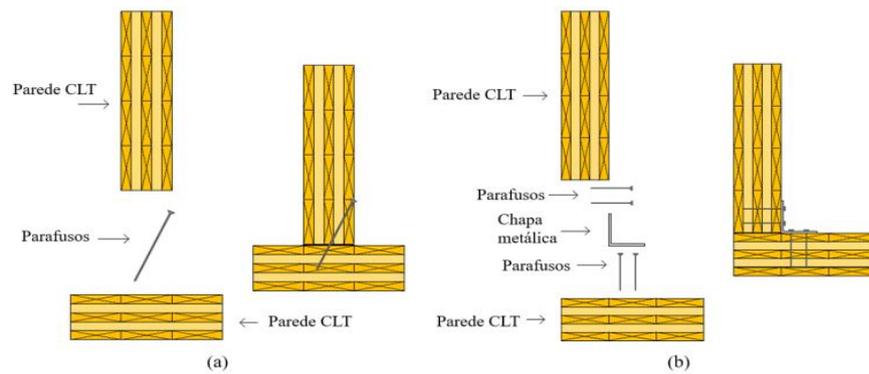
Figura 5 - Instalação de um painel CLT



Fonte: ArchDaily (2020)

Após movimentar e posicionar os elementos construtivos conforme indicado no Plano de Montagem, eles são solidamente fixados entre si ou nos outros sistemas estruturais do edifício, como lajes de concreto, vigas metálicas, entre outros, utilizando parafusos auto perfurantes ou conectores metálicos, como será demonstrado na Figura 6 alguns tipos de conexões utilizados nos painéis. Nas junções formadas entre dois elementos em CLT, seja paralelo ou perpendiculares entre si, é aplicada uma linha de selante de silicone resistente às intempéries. Os parafusos utilizados no Brasil são fornecidos por uma empresa italiana especializada em conectores para estruturas de madeira. Esses parafusos são empregados em conexões simples, como entre duas paredes em CLT, assim como em conexões mais complexas, quando a fixação é realizada por meio de conectores metálicos (OLIVEIRA,2018).

Figura 6- Conexões em painéis CLT



Fonte: (BENITEZ MENDES,2020)

2.2.4 Desempenho estrutural e resistência

Quando se trata de desempenho estrutural e resistência, a madeira possui vários aspectos favoráveis, alta resistência em relação ao seu peso, material flexível e versátil. Ela é capaz de suportar cargas significativas para uma variedade de aplicações estruturais.

Graças à disposição estratégica das tábuas na montagem da unidade, o CLT demonstra uma notável capacidade de carga, apresentando resistência tanto à tração quanto à compressão. A utilização em formato de chapas possibilita uma versatilidade de aplicações, indo além das convenções impostas pelos conjuntos lineares, que eram limitados a conduzir cargas unidirecionais. No contexto das chapas, o CLT desempenha um papel dual, atuando tanto como elemento estrutural quanto de vedação, aproveitando-se da capacidade de suportar cargas em ambas as direções. A disposição ortogonal das tábuas na colagem proporciona percursos únicos e expansivos para as cargas absorvidas pelo material, redirecionando-as e assegurando uma rigidez estrutural sólida (CASTILHO,2019).

No que diz respeito à resposta a atividades sísmicas, um estudo experimental conhecido como Projeto SOFIA revelou que um edifício de sete pavimentos (em escala real), predominantemente estruturado com CLT, demonstra um desempenho positivo diante de atividades sísmicas (CECCOTTI,2006). O material exibe resistência às interferências sísmicas devido à sua composição maciça, proporcionando rigidez e estabilidade. Além disso, o CLT apresenta um desempenho satisfatório em termos de exposição e contenção ao fogo, embora seja inflamável sem o tratamento adequado. Destaca-se também por suas propriedades térmicas e acústicas elevadas. Adicionalmente, o sistema de contraventamento pode ser implementado com eficácia funcional (CASTILHO,2019). Pode-se afirmar que o CLT se apresenta de forma robusta e forte quanto ao seu desempenho estrutural.

Ensaaios para verificação de resistência foram realizados por Oliveira (2018), na qual 3 tipos ensaios diferentes foram feitos. O primeiro com o objetivo de analisar a resistência dos painéis de CLT às solicitações originadas pela fixação de peças suspensas, como armários, prateleiras e afins. Este método consta no anexo A da ABNT NBR 15575 - Desempenho para Edificações Habitacionais (ABNT,2021) onde foi constatado que se alcançou uma carga de 100Kgf, sem que ocorresse deslocamentos horizontais instantâneos ou qualquer tipo de dano no painel.

Para o segundo ensaio realizado, verificou-se a resistência do painel de parede a impactos de corpo duro, na qual consta do anexo B da ABNT NBR 15575 – Desempenho para Edificações habitacionais (ABNT,2021). Em seu resultado, o painel ensaiado foi testado com energia de apenas 3,75J para pequenas dimensões e 20J para grandes dimensões. Não foi constatado em nenhum dos casos rupturas, fissuras ou outros tipos de danos, atendendo a norma citada.

Para o último ensaio, foi testado a resistência dos painéis a impactos de corpo mole, indicado na norma ABNT NBR 11675 - Divisórias leves internas moduladas-Verificação da resistência aos impactos (ABNT,2016). O resultado deste constatou que não houve a ocorrência de ruína ou falhas superficiais para nenhuma das energias testas, no entanto houve um pequeno deslocamento horizontal nos painéis.

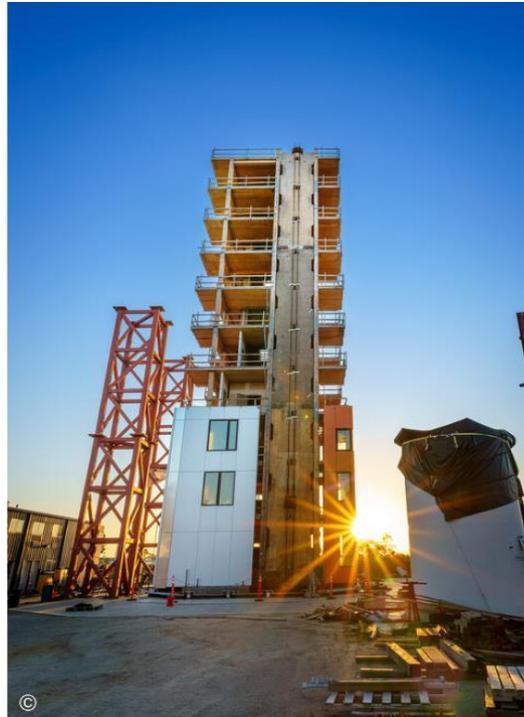
No resultado geral analisado, o painel de CLT ensaiado atingiu o nível desempenho satisfatório, classificando-o como superior no que diz respeito à resistência aos impactos de corpo mole, como vedação externa de casas térreas como função estrutural e como vedação de casa térrea sem função estrutural.

Ecker et al. (2017) também realizaram um estudo na parte estrutural do painel de CLT, na qual foi feita uma avaliação experimental mecânica sob diferentes níveis de consumo de adesivo. Nele foi constatado que adesivos com 200g/m² possuem uma ligação melhor, e conseqüentemente uma resistência maior, visto que no painel com consumo de adesivo de 200g/m² a ruptura foi na madeira, e não na linha de cola, como os adesivo de 120g/m² e 160g/m². Além disso, foi estipulado que o módulo de ruptura para adesivos com 200g/m² seria 2,3 vezes maior que painéis com consumo de adesivo de 160g/m² e 9,3 vezes maior que painéis com consumo de 120g/m².

Em junho de 2023, um estudo realizado pela *Colorado School of Mines*, localizada em Colorado nos Estados Unidos, realizou um teste sísmico em um edifício de 10 andares (Edifício *Tallwood*), mostrado na Figura 7, construído com painéis de CLT, onde foi simulada um

terremoto de magnitude 6,7 e um posterior de magnitude 7,7. Portanto, nota-se que o material possui boa capacidade de resistência a sismos.

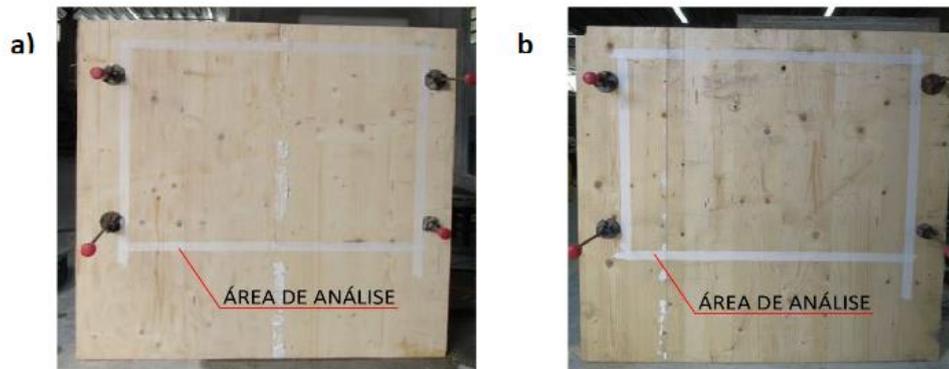
Figura 7 - Edifício *Tallwood*



Fonte: David Baillot/*Jacobs school of engineering* (2023)

Em relação a resistência a água de um painel de CLT, um estudo realizado na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), analisou a estanqueidade de um painel CLT para uso em sistema de vedação vertical (SOUSA, 2023). O ensaio foi realizado conforme especificações do anexo C da ABNT NBR 15575-4 - Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE (ABNT, 2021). Pode-se constatar que, após o teste, não foram detectadas marcas de umidade na face interna dos exemplares amostrados, nem sinais de infiltração de água nas paredes dos painéis avaliados. Observaram-se vazamentos na junta entre os painéis (corpo de prova 1) e na extremidade (corpo de prova 2), estes sendo mostrados na Figura 8, totalizando seis pontos de vazamento entre os exemplares analisados. Em suma, de acordo com esses resultados obtidos, as amostras se mostraram estanques, estando em plenas condições de serem utilizados em vedações de fachadas de edificações.

Figura 8 - Painéis de amostra do ensaio realizado por De Sousa (2023)



Fonte: (SOUSA,2023)

2.3 Desempenho Energético

A madeira é um material com propriedades que contribuem para um desempenho energético eficiente, além de que sua produção requer menos energia em comparação com outros materiais mais convencionais. Ela possui baixa condutividade térmica, o que aumenta sua resistência ao calor, contribuindo para o isolamento térmico, reduzindo a necessidade de aquecimento ou de refrigeração artificiais.

Por conseguinte, com base nos estudos realizados por Nunes et al. (2020), onde simulações computacionais foram realizadas para climas de Brasília, utilizando painéis de CLT de 3 e 5 camadas respectivamente, pode-se observar que o painel de 5 camadas, no verão ofereceu melhor desempenho para todas as situações de pavimentos, onde foram analisados pavimento térreo, intermediário e cobertura, sendo o resultado demonstrado no Quadro 1, com os níveis de eficiência energética correspondidos a cada pavimento.. No inverno, o mesmo painel de 5 camadas ofereceu melhor desempenho, tendo nível de eficiência A (o *software* aplicado RTQ-R utiliza nível A como mais eficiente a E como menos eficiente), em todas as situações averiguados no estudo. Além disso, também foi concluído nesse estudo que painéis CLT, podem garantir habitações de eficiência superiores as construídas convencionalmente.

Quadro 1 - Níveis de eficiência dos casos investigados, para Brasília

Pavimentos	Térreo					Intermediário					Cobertura				
Casos	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Níveis de eficiência	A	B	A	A	A	B	C	C	B	A	B	B	B	B	A

Fonte: (NUNES,2020)

Em outro estudo realizado por Knop et al. (2023), no qual foram analisados o desempenho termo energético de habitação em CLT por simulações computacionais para diferentes climas brasileiros, concluiu-se que os resultados destacam a notável eficácia do

isolamento térmico proporcionado pela madeira, atribuída à sua baixa condutividade térmica. Isso abre caminho para a expansão potencial dessa tecnologia na construção de residências no contexto brasileiro.

2.4 Aplicações do CLT no Brasil

A história da introdução do CLT no Brasil está vinculada ao progresso tecnológico e à busca cada vez maior por alternativas sustentáveis na construção. Inspirado por abordagens adotadas na Europa e na América do Norte, o país adotou a iniciativa de aproveitar as potencialidades da madeira como componente construtivo, alinhando-se com as correntes internacionais de construção sustentável. Esse sistema construtivo já marca presença em projetos arquitetônicos inovadores no Brasil, com edifícios residenciais e comerciais sendo planejados e construídos com base nessa tecnologia. Isso destaca a sua adaptabilidade e versatilidade. Esses projetos inovadores estão se tornando pontos de referência para empreendimentos futuros, influenciando a indústria da construção a adotar mais amplamente o uso do CLT.

As Figuras 9, 10 e 11 a seguir mostram obras em solo nacional compostas com painéis em CLT

Figura 9 - Residência em Cajamar (Lajes de piso e cobertura com CLT)



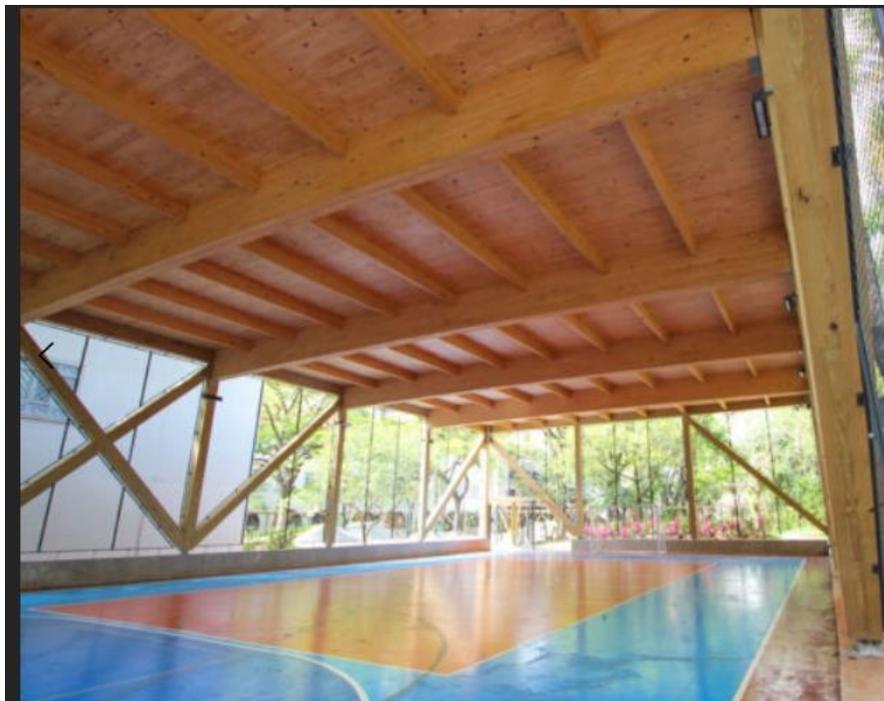
Fonte: Crosslam (2021)

Figura 10 - Residência em Itu (lajes de piso e cobertura de CLT)



Fonte: Crosslam (2016)

Figura 11 - Escola em São Paulo (Lajes de cobertura em CLT)



Fonte: Crosslam (2019)

De acordo com um levantamento feito por Oliveira *et al.* (2018), Entre os anos de 2012 e 2018, no Brasil, foram edificadas 31 residências, total ou parcialmente, por meio da utilização de painéis de CLT. Foram detalhadas as principais características construtivas, tais como os componentes empregados em cada pavimento, o método de construção (modular ou in loco), a finalidade específica do elemento construtivo CLT (como parede, laje, vedação sem função estrutural, etc.) e o tipo de fachada adotada, como apresentado nas tabelas 1,2 e 3 a seguir:

Tabela 1 - Levantamento das edificações em CLT no Brasil

Número da obra	Local	Ano	Área (m ²)	Uso	Tipo de montagem	Tecnologia construtiva adotada por pavimento	Função do elemento CLT
1	Tiradentes MG	2012	62	Residencial	in loco	Térreo/ CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
2	Itupeva SP	2013	321	Serviços	in loco	Térreo /CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
3	Ubatuba SP	2013	78	Serviços	in loco	Térreo /CLT e vigas H20	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
4	São Sebastião SP	2013	60	Residencial	in loco	CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
5	Itu SP	2013	1350	Residencial	in loco	Subsolo / Estrutura metálica e concreto Térreo / estrutura metálicas (vigas e pilares) e CLT vedação	Painéis de fachada (sem função estrutural)
6	Jundiaí SP	2014	30	Serviços	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
7	Jundiaí SP	2014	30	Serviços	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
8	Vale do Parnaíba SP	2015	45	Residencial	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
9	Vale do Parnaíba SP	2015	45	Residencial	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura

Fonte: Oliveira *et al.* (2018) e adaptado pelo autor

Tabela 2 - Continuação tabela Levantamento das edificações em CLT no Brasil.

10	Ubatuba SP	2015	450	Residencial	in loco	Térreo / concreto e CLT 1º Pav / CLT	Divisória dos ambientes internos paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
11	Belo Horizonte MG	2016	18	Comercial Temporário	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
12	Porto Feliz SP	2016	600	Residencial	in loco	Térreo / CLT Mezanino / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
13	Itu SP	2016	370	Residencial	in loco	Térreo / estrutura metálica e alvenaria 1º Pav / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
14	Suzano SP	2017	85	Serviços	in loco	Térreo / CLT e wood frame Mezanino / CLT e wood frame térreo / alvenaria estrutural	Pilares e vigas Lajes de piso, pilares e viga
15	São Sebastião SP	2017	165	Residencial	in loco	1º pav / CLT e alvenaria estrutural	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
16	São Paulo SP	2017	80	Residencial	in loco	Térreo / estrutura pré existente em concreto e alvenaria 1º pav / CLT	Paredes autoportantes Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
17	São Paulo SP	2017	26,5	Serviços	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
18	Gonçalves MG	2017	54	Residencial	in loco	Térreo / CLT e wood frame	Pilares e vigas
19	Curucaca SC	2018	90	Residencial	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura
20	Suzano SP	2018	709	Serviços	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso

Fonte: Oliveira *et al.* (2018) e adaptado pelo autor

Tabela 3 - Conclusão tabela Levantamento das edificações em CLT no Brasil.

21	São Paulo SP	2018	78	Serviços	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
22	São Paulo SP	2018	1662	Serviços	in loco	Térreo / CLT e MLC	Laje de cobertura.
23	Valinhos SP	2018	285	Residencial	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
24	São Paulo SP	2018	-	Comercial	modular	CLT	Divisórias internas e mobiliário.
25	Boaçava SP	2018	157	Residencial	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
26	Gonçalves MG	2018	27	Residencial	modular	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
27	São Luiz do Paratinga SP	2018	208	Residencial	in loco	Térreo / CLT e MLC (vigas) 1º pav / CLT, MLC e wood frame	Paredes autoportantes Lajes de piso e paredes autoportantes.
28	Valinhos SP	2018	525	Residencial	in loco	Térreo / estrutura metálica, CLT e wood frame 1º pav / CLT, MLC e wood frame	Paredes autoportantes Lajes de piso e paredes autoportantes.
29	São Paulo SP	2018	50	Serviços	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
30	São Paulo SP	2018	50	Serviços	in loco	Térreo / CLT	Paredes autoportantes e lajes de piso e cobertura.
31	Avaré SP	2018	245	Residencial	in loco	Térreo / CLT e wood frame	Paredes autoportantes

Fonte: Oliveira *et al.* (2018) e adaptado pelo autor

A empresa Crosslam, pioneira na aplicação e fabricação de madeira engenheirada, como o CLT, está no mercado há 15 anos realizando esse tipo de trabalho, tendo executado mais de 250 obras, entre residências unifamiliares, edifícios residenciais, comerciais e de serviços. Atualmente possui projetos inovadores para o Brasil no seguimento. Exemplo disso é o projeto do Clube Praia da Gama, na qual foi executado em 2020, localizado em Itupeva no interior de São Paulo. Toda a parte de laje do Clube foi construída com CLT, além da utilização de estruturas em aço, como a utilização de vigas metálicas invertidas para a sustentação da

madeira. Outro projeto que foi executado pela Crosslam de bastante expressividade, foi o Parque de inovação da Gávea, localizado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), na qual a estrutura de dois pavimentos é composta por painéis de CLT atuando como paredes estruturais. O restante da estrutura foi realizado com Madeira Lamelada Cruzada (MLC). Outra empresa focada na produção de madeira engenheirada é a Urbem, localizada no estado do Paraná, unindo tecnologia e industrialização a uma matéria prima renovável.

2.5 Consumo e precificação

A utilização da madeira, quando comparada ao uso de sistemas construtivos convencionais, como alvenaria e concreto armado, por exemplo, possui um custo mais elevado, e pode ser atribuída a uma combinação de fatores. A escassez e a demanda localizada desempenham papéis cruciais, influenciando diretamente os preços da madeira. Além disso, o processo de colheita, tratamento e preparação da madeira para uso na construção muitas vezes demanda uma quantidade significativa de mão de obra, contribuindo para os custos finais. A durabilidade e resistência da madeira, especialmente quando se trata de espécies resistentes a insetos e fungos, também podem impactar positivamente seu valor, considerando sua longevidade. Ressalta-se que os custos relativos dos materiais de construção podem variar conforme a localização geográfica, as práticas de manejo florestal adotadas e as regulamentações ambientais vigentes.

Entretanto, o CLT destaca-se como uma tecnologia de elevada eficiência, demonstrando produtividade notável tanto no processo de fabricação, onde sistemas automatizados e computadorizados são empregados, quanto no canteiro de obras, beneficiando-se da montagem descomplicada de painéis pré-fabricados. Em relação aos custos associados à mão de obra, o CLT demonstra resultados positivos devido à menor carga horária exigida e à exigência de qualificações mais acessíveis por parte dos trabalhadores (BRUXEL,2021).

Um estudo realizado por Amaral et al. (2017) comparou a análise econômica da produção de CLT, produzido de forma artesanal, com alvenaria de vedação e alvenaria estrutural, sendo dividida em 3 conjuntos, sendo eles: mão de obra (Tabela 4); materiais e equipamentos (tabela 5); leis sociais e beneficiamento e despesas indiretas (tabela 6).

Tabela 4 - Comparativo de Mão de obra

	Mão de obra	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
CLT	Classificação	0,111	18,75	2,08
	Carpinteiro	0,111	18,75	2,08
	Ajudantes	0,111	9,38	2,08
	Total			6,24
Alvenaria de Vedação	Pedreiro	1	20	20
	Servente	1,027	10	10,27
	Total			30,27
Alvenaria estrutural	Pedreiro	0,8	20	16
	Servente	0,934	10	9,34
	Total			25,34

Fonte: Amaral *et al.* (2017) adaptado pelo autor

Apesar dos valores atuais serem diferentes, pode-se verificar que o custo global da mão de obra na fabricação de estruturas em alvenaria é, em média, 77% superior ao custo correspondente no caso do CLT.

Tabela 5 - Materiais e equipamentos

	Insumos	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
CLT	Madeira de pinus serrada seco ao ar (peças 2 x 20 cm)	m ³	0,06	152	9,12
	Cola PUR	Kg	0,4	30	12
	Plaina	h	0,25	8,89	2,22
	Destopadeira	h	1,5	10	15
	Colagem para prensa	h	0,139	8	1,11
	Prensagem	h	8	0,42	3,36
	Total				42,81
Alvenaria de vedação	Bloco cerâmico furado de vedação (9x9x19 cm ³)	un	25,7	0,6	15,42
	Cimento Portland CP-II-E-32	Kg	1,35	0,5	0,67
	Argamassa de cal hidratada e areia sem peneirar tração	m ³	0,012	478	5,91
Total				22,01	
Alvenaria estrutural	Areia lavada tipo media	m ³	0,016	77	1,25
	Cal hidratada CH III	Kg	0,817	0,5	0,4
	Cimento Portland CP-II-E-32	Kg	6,512	0,5	3,25
	Bloco de concreto estrutural - bloco inteiro	un	12,9	1,5	19,35
Total				24,27	

Fonte: Amaral *et al.* (2017) adaptado pelo autor

Nota-se que o custo total de materiais e equipamentos para a produção de alvenaria é, em média, 46% inferior ao custo correspondente no caso do CLT. Essa disparidade é atribuída ao preço elevado da madeira e ao maior número de etapas envolvidas em sua fabricação.

Tabela 6 - Leis sociais e benefícios e despesas indiretas

Insumos	Leis sociais	Benefícios e Despesas indiretas
		123%
CLT	7,68	17,02
Alvenaria de Vedação	37,23	26,85
Alvenaria Estrutural	31,16	32,31

Fonte: Amaral *et al.* (2017) adaptado pelo autor

Ao analisar as leis sociais e os custos indiretos, é evidente que o CLT oferece uma vantagem em termos de custo total em comparação com as estruturas de alvenaria de vedação e alvenaria estrutural. O CLT apresentou uma redução de aproximadamente 88% nos custos relacionados às leis sociais, além de uma diminuição de cerca de 42% em média quando comparados a benefícios e despesas indiretas.

Em um outro estudo mais recente realizado por Camargo *et al.* (2021), fez-se o acompanhamento de uma edificação residencial na qual o sistema planejado foi o CLT. A planilha orçamentária da obra foi cedida pelo engenheiro responsável, e esta pode-se ser encontrada anexada no final do trabalho.

Nela constata-se que o custo de materiais para uma residência utilizando CLT como paredes e forro foi de R\$ 610.895,00. Desse montante, cerca de R\$230.000,00 correspondem ao material CLT (não considerando ligações), representando aproximadamente 38% do custo dos materiais. Para fins comparativos, Camargo *et al.* (2021) desenvolveram estudo para uma edificação similar, porém sendo executado no sistema convencional. As planilhas do autor também podem ser encontradas em anexo ao final do trabalho.

Quando se compara os materiais utilizados, há uma redução de aproximadamente 56% no valor do sistema construtivo convencional em relação ao CLT, e ao se comparar o custo total da obra há uma redução de aproximadamente 48% no valor do sistema convencional em relação ao CLT

Em resumo, comparando-se aos materiais empregados, o CLT acarreta um custo superior em comparação com o sistema convencional. Essa disparidade resulta da limitada disponibilidade desse tipo de material, uma vez que ainda não é amplamente utilizado no país.

Por outro lado, no que diz respeito à mão de obra, o sistema convencional demonstra custos mais elevados, devido à necessidade de contar com uma equipe mais numerosa e ao maior tempo exigido para sua execução (CAMARGO, 2021). Entretanto, com a popularização do CLT no Brasil ao longo do tempo, os valores desses materiais tendem a cair, visto que cada vez mais a oferta por esse tipo de produto tem aumentado, assim como a demanda, o que pode tornar os preços mais acessíveis.

Por fim, é crucial ressaltar que o custo financeiro associado ao uso do CLT não abrange integralmente os benefícios que tanto o usuário quanto a sociedade podem colher ao adotar essa tecnologia. Esse descompasso, denominado externalidade conforme AZAMBUJA (2013), indica que uma parcela dos custos (ou, inversamente, dos benefícios) vinculados ao uso de um material não é suportada pelo usuário, mas sim pela sociedade como um todo. No contexto do material aqui estudado, verifica-se que sua implementação resulta em externalidades positivas devido aos seus aspectos ambientais. Assim, a simples comparação dos custos de produção entre o *Cross Laminated Timber* e métodos mais convencionais revela-se superficial. Uma abordagem viável consiste na implementação de medidas governamentais que internalizam, nos custos dos materiais convencionais, as externalidades negativas geradas por esses. Ademais, há a possibilidade de o governo facilitar a internalização das externalidades positivas do CLT por meio de programas de incentivo público, como já observado em países como Canadá, França e Japão (BRUXEL,2021).

2.6 Normas Técnicas

No dia 29 de julho de 2022, foi publicada a ABNT NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT,2022), subdividida em 7 partes que dão suporte para que os novos sistemas construtivos em madeira possam desenvolver-se no Brasil. São eles:

- Parte 1: Critérios de dimensionamento;
- Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira;
- Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas;
- Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais;
- Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos;

- Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural;
- Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural.

Fora do país, algumas normas são reconhecidas como importante mecanismo de estudo do CLT, podendo-o abranger este método construtivo, sendo elas:

Europa (EN):

- EN 16351: *Timber structures – Cross laminated timber – Requirements.*
- EN 1995-1-1: Eurocode 5 - *Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules*

América do Norte (ANSI/APA):

- ANSI/APA PRG 320: *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber.*
- ANSI/APA PRG 321: *Standard for Evaluation and Qualification of Cross-Laminated Timber (CLT) and Related Structural Composite Lumber Products.*

Austrália (AS):

- AS 1720.1: *Timber structures - Design methods.*
- AS 1720.4: *Timber structures - Part 4: Fire resistance of structural timber members.*

Antes da publicação da nova versão da norma brasileira, de 2022, os dimensionamentos eram realizados prioritariamente tendo como referência documentos internacionais. Entretanto, diretrizes para emprego do CLT foram introduzidas no novo documento normativo nacional, tornando-se referência para projetos brasileiros.

2.7 Softwares empregados

O processo de design e construção de estruturas de *Cross Laminated Timber* (CLT) geralmente envolve o uso de vários *softwares* para garantir precisão e eficiência. Alguns dos softwares comumente empregados incluem:

- CAD (*Computer-Aided Design*): *Softwares* como AutoCAD ou Rhino são frequentemente usados para criar desenhos detalhados das peças de CLT, considerando as dimensões precisas e a interconexão das camadas.
- Modelagem 3D: Ferramentas de modelagem 3D como SketchUp ou Revit podem ser úteis para visualizar a estrutura CLT em um ambiente tridimensional, facilitando a compreensão do projeto.

- **Análise Estrutural:** *Softwares* como SAP2000, ETABS ou RISA podem ser utilizados para realizar análises estruturais detalhadas, garantindo que a estrutura de CLT atenda aos requisitos de segurança e desempenho.
- **BIM (*Building Information Modeling*):** Ferramentas BIM, como o Autodesk BIM 360, permitem a colaboração eficiente entre os diferentes profissionais envolvidos no projeto, desde arquitetos até engenheiros e construtores.
- ***Softwares* Específicos de CLT:** Existem *softwares* especializados, como o Dlubal RF-LAMINATE, projetados especificamente para análise e dimensionamento de estruturas de madeira laminada cruzada.
- **Simulação de Incêndio e Desempenho Térmico:** Para avaliar o desempenho em situações de incêndio ou para otimizar a eficiência térmica, podem ser utilizados *softwares* como o FDS (Fire Dynamics Simulator) para simulação de incêndio e o EnergyPlus para análise de desempenho energético.

Esses *softwares* trabalham em conjunto para garantir que a estrutura de CLT seja projetada de maneira eficaz, atendendo a padrões de segurança, regulamentações e requisitos específicos do projeto.

2.8 Desenvolvimento da Indústria no Brasil

A crescente conscientização sobre a sustentabilidade da madeira é um dos principais fatores que impulsiona o desenvolvimento da indústria CLT no Brasil. A madeira é um material renovável e sustentável, e a demanda por edifícios mais eficientes também é um fator importante que impulsiona o desenvolvimento da indústria de CLT em território nacional. A disponibilidade de painéis desse material fabricados nacionalmente é outro fator que contribui para o desenvolvimento da mesma. Aumentar a produção de painéis CLT, devido ao incremento de consumo, pode tornar o material mais acessível e competitivo. Em 2023 o Brasil conta com algumas empresas fabricantes de painéis CLT, e dentre elas podem ser citadas, como exemplo, a Crosslam, a Urbem, e a TecVerde. Estas empresas estão localizadas em diferentes regiões do país, o que tem facilitado a disseminação da tecnologia em todo o território nacional.

2.9 Perspectivas futuras

Com a crescente procura por métodos construtivos alternativos, a tendência para o incremento do sistema construtivo CLT no Brasil pode ser considerada otimista. Buscas por maior eficiência, sustentabilidade e inovação na construção civil são fatores determinantes para

o crescimento do cenário nacional desse material. Ante esses fatos, a indústria tem se expandido gradualmente ao longo do território nacional, juntamente com a realização de estudos relativos ao material e às suas técnicas, em universidades e centros de pesquisas brasileiros, o que contribui para cenário um promissor.

3. CONCLUSÃO

A incorporação do sistema construtivo CLT no Brasil não só se configura como uma inovação na construção civil, mas também se apresenta como uma resposta às exigências contemporâneas por práticas mais sustentáveis, eficientes e ágeis na execução de obras. Verificou-se que, apesar dos obstáculos enfrentados, o CLT trilha um percurso promissor rumo à construção sustentável no país. A necessidade de buscar alternativas mais ecológicas e eficientes na construção de edifícios torna-se imperativa para lidar com desafios ambientais e atender à crescente demanda por habitação. Paralelamente, é possível afirmar que o sistema construtivo possui bom desempenho, tanto estrutural quanto energético. Observa-se ainda espaço para melhorias regulatórias, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e disseminação do conhecimento sobre as vantagens do CLT, a fim de que seu potencial seja plenamente explorado no contexto construtivo brasileiro.

Em síntese, o sistema construtivo CLT não apenas se apresenta como uma escolha viável, mas emerge como um elemento potencial no desenvolvimento da construção sustentável no Brasil, desempenhando um papel significativo na transformação positiva do setor e fomentando um futuro mais consciente e responsável.

ANEXO A - Planilha orçamentaria CLT

a) MATERIAIS					
ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNIT.	SUBTOTAL
1	MLC VIGAS	m3	19,38	R\$ 8.500,00	R\$ 164.730,00
2	CLT PAREDES	m3	17,15	R\$ 7.500,00	R\$ 128.625,00
3	FORRO CLT	m3	13,49	R\$ 7.500,00	R\$ 101.175,00
4	CUNHAS	m3	2,89	R\$ 4.500,00	R\$ 13.005,00
5	PILARES METÁLICOS	kg	180,00	R\$ 25,00	R\$ 4.500,00
6	FERRAGENS/CANTONEIRAS	kg	750,00	R\$ 35,00	R\$ 26.250,00
7	PREGOS	un.	15000,00	R\$ 0,25	R\$ 3.750,00
8	PARAFUSOS ROTHOBLAAS	un.	6000,00	R\$ 5,00	R\$ 30.000,00
9	MANTAS TRANSPIR	m2	250,00	R\$ 15,00	R\$ 3.750,00
10	FLEXIBAND	ml	100,00	R\$ 5,00	R\$ 500,00
11	DECK	m2	150,00	R\$ 300,00	R\$ 45.000,00
12	RIPADO FACHADA	m3	6,00	R\$ 4.500,00	R\$ 27.000,00
13	PAINEL WALL PISO	m2	82,00	R\$ 100,00	R\$ 8.200,00
14	FITA ASFÁLTICA	ml	500,00	R\$ 5,00	R\$ 2.500,00
15	MANTA E FITA TYVEK	ml	100,00	R\$ 10,00	R\$ 1.000,00
16	OSB HP/WOODFRAME	un.	50,00	R\$ 30,00	R\$ 1.500,00
17	LÃ DE ROCHA	m2	60,00	R\$ 60,00	R\$ 3.600,00
18	BARROTES DECK	m3	7,68	R\$ 4.500,00	R\$ 34.560,00
19	FITA ADESIVA ROTHOTAPE	ml	100,00	R\$ 15,00	R\$ 1.500,00
20	STAIN HIDORREPELENTE	un.	5,00	R\$ 750,00	R\$ 3.750,00
21	PLACA CIM. ACQUA PANEL	m2	120,00	R\$ 50,00	R\$ 6.000,00
				(i) R\$	610.895,00

Fonte: Camargo *et al.* (2021)

ANEXO B - Continuação planilha orçamentaria CLT

b) PRODUTIVIDADE					
ITEM	DESCRIÇÃO	EQUIPES	PEÇAS POR DIA	QUANTIDADE	DIAS
1	PRODUTIVIDADE	1	8	353	44,13
c) MONTAGEM					
ITEM	DESCRIÇÃO	DIAS	CUSTO EQUIPE/DIA	SUBTOTAL	
1	MONTAGEM + ACABAM.	45,00	R\$ 4.000,00	R\$	180.000,00
2	MUNCK/GUINDASTE	15,00	R\$ 2.000,00	R\$	30.000,00
3	ANDAIMES	45,00	R\$ 50,00	R\$	2.250,00
				(ii)	R\$ 212.250,00
d) CUSTOS DIRETOS (PREÇO DE CUSTO)					
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR			
1	MATERIAIS (VENDA DIRETA - IMPOSTOS INCLUSOS)	R\$ 610.895,00			
2	MÃO DE OBRA	R\$ 212.250,00			
				(i + ii)	R\$ 823.145,00
e) CUSTOS INDIRETOS					
ITEM	DESCRIÇÃO	PORCENTAGEM	VALOR		
1	PROJETO EXECUTIVO	5%	R\$	41.157,25	
2	OPERACIONAL DO ESCRITÓRIO	6%	R\$	49.388,70	
3	RISCO DA OBRA + SEGURO	2%	R\$	16.462,90	
4	GERENCIAMENTO DA OBRA	10%	R\$	82.314,50	
				(iii)	R\$ 189.323,35
g) CUSTOS DIRETOS + INDIRETOS					
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR			
1	MATERIAIS (VENDA DIRETA - IMPOSTOS INCLUSOS)	R\$ 610.895,00			
2	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS (ii + iii)	R\$ 401.573,35			
				(vi)	R\$ 1.012.468,35
h) IMPOSTOS					
ITEM	DESCRIÇÃO	PORCENTAGEM	VALOR		
1	SERVIÇOS	18%	R\$	88.150,25	
i) ORÇAMENTO FINAL					
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR			
1	MATERIAIS (VENDA DIRETA - IMPOSTOS INCLUSOS)	R\$ 610.895,00			
2	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS (ii + iii)	R\$ 489.723,60			
				(vi)	R\$ 1.100.618,60
i) B.D.I. (Benefícios e Despesas Indiretas)					
Cálculo do B.D.I. (venda/custo - 1)				33,71%	
j) LUCRO					
Cálculo da % de Lucro			R\$ 139.934,65	12,71%	

Fonte: Camargo *et al.* (2021)

ANEXO C - Quantitativo Sistema construtivo convencional

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				
DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNID	VALOR TOTAL
Concreto	m³	67	R\$ 380,00	R\$ 25.460,00
Aço	kg	3600	R\$ 14,90	R\$ 53.640,00
Forma	und	150	R\$ 131,00	R\$ 19.650,00
Tijolo	und	8000	R\$ 1,70	R\$ 13.600,00
Cimento	sacos	600	R\$ 25,00	R\$ 15.000,00
Areia	m³	48	R\$ 110,00	R\$ 5.280,00
Brita	m³	36	R\$ 120,00	R\$ 4.320,00
Impermeabilização em parede área molhada	m²	103	R\$ 38,43	R\$ 3.964,47
Impermeabilização em piso de área olhada	m²	18	R\$ 57,85	R\$ 1.041,30
Impermeabilização cobertura	m²	156,24	R\$ 60,00	R\$ 9.374,40
Pintura parede interna	m²	464,8	R\$ 11,80	R\$ 5.484,64
Pintura Teto	m²	156,24	R\$ 14,62	R\$ 2.284,23
Pintura externa	m²	210	R\$ 16,43	R\$ 3.462,90
Forro de gesso acartonado	m²	156,24	R\$ 75,00	R\$ 11.718,00
Eletroduto	rolo	12	R\$ 90,00	R\$ 1.080,00
Caixa Octogonal	und	42	R\$ 2,80	R\$ 117,60
Material Elétrico	und	1	R\$ 7.500,00	R\$ 7.500,00
Material Hidráulica	und	1	R\$ 15.700,00	R\$ 15.700,00
Prego	kg	20	R\$ 15,72	R\$ 314,40
Arame	kg	100	R\$ 19,00	R\$ 1.900,00
Disco para maquina	und	8	R\$ 62,00	R\$ 496,00
Disco para serra circular	und	8	R\$ 55,00	R\$ 440,00
Disco pra lixadeira	und	8	R\$ 5,50	R\$ 44,00
Lona	m	70	R\$ 20,00	R\$ 1.400,00
Betoneira	mensal	4	R\$ 250,00	R\$ 1.000,00
Colher de Pedreiro	und	3	R\$ 25,30	R\$ 77,70
Pé	und	3	R\$ 38,30	R\$ 116,70
Martelo	und	4	R\$ 20,90	R\$ 83,60
Réguas	und	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00
Trena	und	8	R\$ 34,30	R\$ 279,20
Masseira	und	2	R\$ 50,00	R\$ 100,00
Mangueira de nível	m	20	R\$ 2,40	R\$ 48,00
Prumo	und	3	R\$ 29,80	R\$ 89,40
Esquadro	und	3	R\$ 50,00	R\$ 150,00
Bomba Estacionaria	und	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Serra Circular	und	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Serra de Forragem	und	1	R\$ 230,00	R\$ 230,00
Maquina	und	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Andaimes	mensal	4	R\$ 120,00	R\$ 480,00
Escoras	und	200	R\$ 8,00	R\$ 1.600,00
Torquês	und	4	R\$ 27,30	R\$ 111,60
Alavanca	und	2	R\$ 45,90	R\$ 91,80
Caçamba	mensal	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Vibrador	mensal	2	R\$ 150,00	R\$ 300,00
Cerrote	und	1	R\$ 10,20	R\$ 10,20
Cegrete	und	1	R\$ 24,30	R\$ 24,30
Carrinho de mão	und	3	R\$ 250,00	R\$ 750,00
Enxada	und	2	R\$ 39,30	R\$ 79,80
Broxa	und	2	R\$ 11,90	R\$ 23,80
Desempenadeira	und	2	R\$ 15,80	R\$ 31,60
Vibrador	mensal	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Estrutura cobertura mista (madeira/vidro)	und	116	R\$ 600,00	R\$ 69.600,00
Total				R\$ 281.230,24

Fonte: Camargo *et al.* (2021)

ANEXO D - Continuação planilha orçamentária Sistema convencional

MÃO DE OBRA					
EQUIPE	UNID.	QUANT.	DIAS	VALOR DIARIA	VALOR TOTAL
Meste de Obra	Diárias	1	120	R\$ 350,00	R\$ 42.000,00
Pedreiro	Diárias	3	120	R\$ 250,00	R\$ 90.000,00
Servente	Diárias	2	120	R\$ 150,00	R\$ 36.000,00
Carpinteiro	Diárias	2	90	R\$ 250,00	R\$ 45.000,00
Pintor	Diárias	2	20	R\$ 250,00	R\$ 10.000,00
Total					R\$ 213.000,00

CUSTOS DIRETOS	
Material e Equipamentos	R\$ 281.230,24
Mão de Obra	R\$ 213.000,00
Total	R\$ 494.230,24

CUSTOS INDIRETOS	
PROJETO EXECUTIVO	R\$ 24.000,00
GERENCIAMENTO DE OBRA	R\$ 50.000,00
TOTAL	R\$ 74.000,00

CUSTO TOTAL OBRA		
CUSTOS DIRETOS	R\$	494.230,24
CUSTOS INDIRETOS	R\$	74.000,00
HONORARIOS DA CONSTRUTORA	15%	R\$ 85.234,54
IMPOSTOS	4,5%	R\$ 3.835,55
Total	R\$	572.065,79

Fonte: Camargo *et al.* (2021)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, AC de; SILVA, Ricardo Dias; MOURA, JDMM. **Potencial de implantação do sistema construtivo Cross Laminated Timber-CLT no Brasil**. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v. 7, n. 6, p. 57607-57619, 2021.

AMARAL, Rafaela Schroeder; ROSA, Talitha Oliveira; TEREZO, Rodrigo. **ESTIMATIVA DE CUSTOS E DESEMPENHO DE PAINÉIS EM MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA**. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11675**. Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência aos impactos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16143**. Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-4**. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AZAMBUJA, Jose Alberto. **Incompatibilidade entre o paradigma atual da construção e princípios de sustentabilidade: proposição de novo paradigma**. 2013.

BARBOSA, Maria Teresa; CRUZ, Ana Flavia; CASTANÕN, José Alberto. **Análise do processo de manutenção em diferentes sistemas construtivos no Brasil**. Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis, v. 11, n. 1, p. 33-43, 2017.

BENITEZ MENDES, Rodrigo Adolfo. **Comportamento estrutural de painéis Cross-Laminated Timber sob cargas perpendiculares ao seu plano: abordagem experimental e numérica**. 2020.

BetetteB. S. S.; CastilhoL. B. **USO DE CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EM PROJETOS ESTRUTURAIS**. Revista Artigos. Com, v. 7, p. e2751, 27 dez. 2019.

BRUXEL, Marcelo Machado. **Viabilidade da utilização da madeira laminada cruzada em obras no Rio Grande do Sul**. 2021.

CAMARGO, Bruna Ferraz; SILVA, Matheus Oliveira. **Análise do processo construtivo com o Cross Laminated Timber**. 2021.

CECCOTTI, Ario et al. **SOFIE project–test results on the lateral resistance of cross-laminated wooden panels**. In: Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismicity. 2006.

COLLINETTI, Diego Alba. **Estudo de caso da eficiência energética de dois sistemas construtivos em madeira: clt e wood frame**. 2016.

CONHEÇA O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO MASS TIMBER. **Urbembr**, 2020. Disponível em: <<https://urbembr.com/da-floresta-para-a-cidade/>>. Acesso em: 3 de out. de 2023.

DA COSTA, Ana Alexandra Pontes. **Construção de edifícios com cross laminated timber (CLT)**. 2013.

DE OLIVEIRA ALVES, Gabriela Ferreira Morais; MORAES, Ailton Cabral. **MANUAL PARA PROJETOS EM CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)**. Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB-Relatórios de Pesquisa, v. 3, n. 1, 2017.

DE SOUSA, Elton Belarmino et al. **Análise da estanqueidade de painéis de Cross Laminated Timber (CLT) para uso em sistema de vedação vertical externo (SVVE)**. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS. 2023. (de Souza,2023)

DIAS, Alan. **MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA (CLT): PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO**. Carpinteria Madeira inteligente. Disponível em: <<https://carpinteria.com.br/2018/04/08/madeira-laminada-cruzada-clt/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

ECKER, Taienne Winni Paiz; MIOTTO, José Luiz; TURMINA, Gabriel. **Painéis de madeira laminada colada cruzada para lajes: avaliação experimental mecânica sob diferentes níveis de consumo de adesivo**. Ciência & Engenharia, v. 26, n. 1, p. 17-25, 2017.

FELIX, Patrícia Meira de A. Costa; ONO, Rosaria; OLIVEIRA, Fabiana Lopes. **MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AO FOGO DO CROSS LAMINATED TIMBER**

(CLT) PARA APLICAÇÃO NO BRASIL. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 7, p. 1-10, 2021.

Franco, José Tomás. "**A Madeira Laminada Cruzada (CLT) é o concreto do futuro?**" [¿Es la madera laminada cruzada (CLT) el hormigón del futuro?] 03 Ago 2020. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo) Acessado 7 Nov 2023. <<https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro>> ISSN 0719-8906

Franco, José Tomás. "**Madeira engenheirada: primeira simulação de terremoto em um edifício de 10 pavimentos**" [First-Ever Earthquake Simulation in a 10-Story Mass Timber Building] 04 Jun 2023. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo) Acessado 7 Nov 2023. <<https://www.archdaily.com.br/br/1000955/madeira-engenheirada-primeira-simulacao-de-terremoto-em-um-edificio-de-10-pavimentos>> ISSN 0719-8906

KNOP, Amanda; DISCONZI, Fernanda Perazzolo. **Desempenho termoenergético de habitação em CLT por meio de simulações computacionais para diferentes climas brasileiros**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 17, p. 1-11, 2023.

MARCATTO, Hadriê; ARAÚJO, Sidnei Carlos de. **Madeira laminada colada cruzada–MLCC. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Brasil.

MIOTTO, KAROLINNE; DE CLT, **LAMELAS DE PAINÉIS**. PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL–PCV.

NUNES, Gustavo; SANCHES, Guilherme; GIGLIO, Thalita. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES EM CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT): ANÁLISES PARA OS CLIMAS DE BRASÍLIA E SANTA MARIA**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2020.

OLIVEIRA, Gabriela Lotuffo; DE OLIVEIRA, Fabiana Lopes. **AS INTERFERÊNCIAS DO PROCESSO PRODUTIVO NA CONCEPÇÃO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS EM CLT–CROSS LAMINATED TIMBER**. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS. 2017.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho. Recomendações para o processo do projeto arquitetônico.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; DE OLIVEIRA, Fabiana Lopes. **A construção em cross laminated timber no brasil.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 17, n. 1, p. 2892-2900, 2018.

PEREIRA, Marcos Cesar de Moraes. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Souza, Eduardo. **"Cross Laminated Timber (CLT): What It Is and How To Use It "** [Madeira Laminada Cruzada: o que é e como utilizá-la] 20 May 2018. ArchDaily. (Trans. Franco, José Tomás) Accessed 7 Nov 2023. <<https://www.archdaily.com/893442/cross-laminated-timber-clt-what-it-is-and-how-to-use-it>> ISSN 0719-8884

SVITÁK, Martin; GAŠPARÍK, Miroslav; PENC, Jan. **Heat resistance of glued finger joints in spruce wood constructions.** *BioResources*, v. 9, n. 4, p. 7529-7541, 2014.