



Projeto Graduação em Engenharia Civil

A Construção Mista com Madeira Engenheirada e sua
Aplicabilidade em Lajes de Edifícios

João Pedro de Agostini Menegotto – 1810332

Gabriel Hosken da Silva Matias – 1711979

Orientador: Glauco José de Oliveira Rodrigues

Pontifícia Universidade Católica - Departamento de Engenharia Civil, Rua Marquês de

São Vicente, 225, 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

08 de Novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por sempre me proporcionar ótimas condições de estudo e me apoiar em todos os momentos árdus durante a graduação.

Ao meu parceiro neste trabalho, Gabriel Hosken da Silva Matias, que se mostrou resiliente e determinado durante o desenvolvimento de toda a pesquisa.

Ao professor Glauco José de Oliveira Rodrigues, responsável pelo meu contato com o tema desta obra, que sempre esteve disposto a ajudar.

João Pedro de Agostini Menegotto

AGRADECIMENTOS

Ao parceiro de trabalho, João Pedro de Agostini Menegotto, por acreditar no projeto desde o início e por seu ímpeto em desenvolver o projeto da melhor forma.

Ao professor e orientador Glauco José de Oliveira Rodrigues, que desde o primeiro contato mostrou muito interesse em ajudar a desenvolver o tema e com todo seu conhecimento nos ajudou na realização deste trabalho.

A minha família, que torna este trabalho possível, por sempre ter oferecido condições e apoio ao longo de minha trajetória.

Gabriel Hosken da Silva Matias

RESUMO

Em uma sociedade de caráter cada vez mais sustentável, a madeira ressurge como um material alternativo no âmbito da construção civil. A tecnologia para produção da madeira engenheirada e os painéis de CLT, contribuem para aceleração desse processo, permitindo que o material tenha mais casos de uso e possa ser aplicado, até mesmo, em lajes de edifícios. As placas de CLT (“Cross laminated timber”) são compostas por camadas de madeira, coladas ortogonalmente, garantindo maior resistência ao material, possibilitando superar grandes vãos com estruturas mais leves que as convencionais. Além disso, a madeira contribui para a absorção de carbono da atmosfera, dificultando e tornando mais lentas as mudanças climáticas. Vale destacar também que a utilização dos painéis de CLT combinado com concreto, proporcionam um grande avanço para o setor, possibilitando a construção de edificações de múltiplos andares com um processo construtivo mais rápido, limpo e eficiente. Dessa forma, essas estruturas garantem orçamentos competitivos ao mesmo tempo que são baseadas em processos com menores gastos energéticos, reduzindo os impactos ambientais. Edificações baseadas nessa nova tecnologia antes só existentes nos Estados Unidos, Canadá e países europeus, já se fazem presentes no Brasil, ainda que de forma mais tímida, exemplificando o grande potencial do país nesse setor, principalmente devido a sua ampla área florestal.

Palavras-chave: Madeira; CLT (“Cross laminated timber”); Sustentabilidade; Lajes de Edifícios; Construções mistas; Eficiência; Potencial.

ABSTRACT

In an increasingly sustainable society, wood reemerges as an alternative material in the field of civil construction. The technology to produce engineered wood and CLT panels contribute to speed up this process, allowing the material to have more use cases and even be applied to building slabs. CLT (Cross laminated timber) boards are made up of layers of wood, orthogonally glued, ensuring greater resistance to the material, making it possible to overcome large spans with lighter structures than conventional ones. Furthermore, wood contributes to the absorption of carbon from the atmosphere, making climate change more difficult and slower. It is also worth noting that the use of CLT panels combined with concrete, provide a great advance for the sector, enabling the construction of multi-story buildings with a faster, cleaner and more efficient construction process. Thus, these structures ensure competitive budgets while being based on processes with lower energy costs, reducing environmental impacts. Buildings based on this new technology, previously only existing in the United States, Canada and European countries, are already present in Brazil, albeit more timidly, exemplifying the country's great potential in this sector, mainly due to its large forest area.

Keywords: Wood; CLT (Cross laminated timber); Sustainability; Slabs; Efficiency; Potential.

SUMÁRIO

1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
2 A Madeira Engenheirada.....	3
2.1 Madeira Laminada Cruzada ou Cross Laminated Timber (CLT)	6
2.1.1 Estrutura da Madeira Laminada Cruzada	11
2.2 CLT no Brasil.....	15
3 Estruturas Mistas Madeira-Concreto	19
3.1 Lajes Mistas Steel Deck.....	20
3.1.1 Conectores Steel Deck.....	21
3.2 Método Construtivo e Conectores Madeira-Concreto.....	22
4 Lajes Mistas de Edificações com Madeira Engenheirada	25
5 Pré-dimensionamento de Pannel de CLT e Comparação com Laje de Concreto (MPI)	29
5.1 Apresentação dos Resultados do Dimensionamento da Laje de Concreto (MPI). 32	
5.2 Pré-dimensionamento do Pannel de CLT	33
5.3 Comparativo dos Resultados da Laje de CLT em Relação a Laje de Concreto (MPI)	34
6 Conclusão	35
Referências Bibliográficas	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício Mjøstårnet, Noruega.....	5
Figura 2 - Edifício Murray Grove, Londres.....	6
Figura 3 - Blocos Habitacionais Puukuokka, Finlândia.....	7
Figura 4 - Tall Timber Building, Suécia	8
Figura 5 - Teste de Carbonização em uma Placa de CLT	10
Figura 6 - Finger-joints em Posição Transversal e Longitudinal	12
Figura 7 - Disposição das placas de CLT.....	13
Figura 8 - Estrutura do CLT	13
Figura 9 - Processo Construtivo com CLT.....	15
Figura 10 - Residência em Itu, CLT Utilizado para as Lajes e Cobertura.....	18
Figura 11 - Casa no Vale do Parnaíba, CLT com função estrutural.....	19
Figura 12 - Escritório em Suzano, Estrutura com CLT	19
Figura 13 - Elementos do steel deck	21
Figura 14 - Conectores chapa-viga	22
Figura 15 - Estrutura mista de madeira-concreto	23
Figura 16 - Conexão entre o Concreto e Placa de CLT	24
Figura 17 - Laje Mista.....	25
Figura 18 - Representação de uma Laje Mista Madeira-Concreto (Betão)	27
Figura 19 - Estrutura de Laje Mista de Madeira-Concreto	27
Figura 20 - Planta de Forma do Pavimento Tipo.....	29
Figura 21 - Laje em Análise (L2)	29

LISTA DE TABELAS

Tabela1 - Revestimento de Pisos e Impermeabilizações	30
Tabela2 - Cargas Distribuídas e Concentradas por Local	31
Tabela3 - Pré-dimensionamento do CLT	33
Tabela4 - Espessuras e Quantidade de Camadas do Pannel de CLT	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1 - Comparativo do Consumo de Energia	9
Gráfico2 - Histórico da Produção Global de CLT	9
Gráfico3 - Número de Edificações em CLT Construídas por Ano.....	16
Gráfico4 - Número de Edificações em CLT Construídas por Uso e Ano	17
Gráfico5 - Porcentagem de Edificações em CLT Construídas por local	17

1 Introdução

A utilização da madeira das mais diversas formas possíveis, é muito comum desde o início das civilizações até os dias de hoje. Esse material já foi aplicado para obtenção de calor, iluminação e construções de abrigos primitivos, e hoje, é empregado na construção de prédios e casas modernas (BRITTO, 2021). Atualmente, no Brasil, as construções são majoritariamente de concreto armado, um material que tem o cimento como um de seus principais componentes. A produção de cimento emite poluentes atmosféricos perigosos, como o gás carbônico (CO₂), sendo extremamente prejudicial ao meio ambiente (ARCHDAILY, 2019). Assim, no mundo sustentável e inovador atual, é evidente que deve-se migrar para matérias-primas com processos de extração menos nocivos ao meio ambiente, de forma a atender as demandas de todos de maneira escalável e duradoura (BRITTO, 2021).

A madeira é vista como uma alternativa sustentável para o atual modelo de construção civil no Brasil, visto que o seu emprego contribui para a apreensão de carbono e impede emissões de gases efeito estufa (GEE), um dos principais responsáveis pelas grandes mudanças climáticas. Ademais, a fomentação de um método construtivo baseado na madeira, pode incentivar o desenvolvimento de florestas plantadas, muito eficientes na absorção de CO₂ da atmosfera. Além disso, o desenvolvimento de uma metodologia construtiva mais eficiente e ecológica pode ter um efeito positivo no âmbito social, contribuindo em pontos como o déficit habitacional, uma das grandes questões sociais no país (FOGGIATO, 2021).

A produção da madeira engenheirada e o CLT (Cross laminated timber), tecnologia que possibilita a criação de painéis de madeira resistentes que podem atuar como lajes, vem, aos poucos, revolucionando o mercado da construção civil (OLIVEIRA, 2018). A

utilização dessas placas compostas por camadas de madeira coladas perpendicularmente entre si (CLT) vem crescendo rapidamente e já é, muitas vezes, combinadas com materiais predominantes no âmbito da construção civil, como o aço e o concreto. Dessa forma, estruturas compostas com esses materiais podem obter um desempenho mecânico e estrutural ainda melhor (BRITTO, 2021).

É de extrema importância destacar que o Brasil possui vasta dimensão territorial, alta biodiversidade e uma grande área florestal. Ao combinar esses fatores com uma legislação ambiental adequada e a busca pela sustentabilidade, é evidente que métodos construtivos com madeira podem ser mais utilizados, desafiando o sistema de construção conservador existente no país. Por consequência, com essa maior concorrência no setor, projetos de engenharia podem baratear e mais empregos podem ser gerados (BRITTO, 2021).

Pode-se acentuar que o CLT e seu processo construtivo compõe uma grande inovação no setor, que se diferencia bastante dos processos tradicionais empregados na construção civil. Dessa forma, é evidente que como qualquer nova tecnologia, questionamentos e dúvidas acerca de seu desempenho e segurança são frequentes (OLIVEIRA, 2018).

1.1 Objetivos

Esse trabalho tem como propósito principal apresentar os benefícios e vantagens da utilização da madeira engenheirada na construção civil, principalmente o CLT, e expor como esse material pode ser aplicado, principalmente atuando como laje, se provando uma alternativa viável e sustentável. A pesquisa apresenta o método construtivo com o CLT e a combinação dessa tecnologia inovadora com materiais renomados como o concreto e o aço. A comparação entre as características de uma laje de CLT e uma laje

de concreto também estão no escopo do trabalho. Além disso, esse estudo busca fomentar e aumentar a quantidade de pesquisas sobre este tema, visto que ainda existem poucas referências e normas técnicas sobre o conteúdo em questão.

2 A Madeira Engenheirada

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, no entanto, com o surgimento do concreto e do aço, seu uso estrutural foi diminuindo consideravelmente com o passar do tempo. Apesar de existir há algumas décadas, foi recentemente, sendo muito aplicada na Europa e em países da América do Norte como Estados Unidos e Canadá, que essa tecnologia inovadora e sustentável tem repercutido no âmbito da construção civil. Toda madeira que é processada e transformada industrialmente, visando aumentar o seu desempenho no âmbito construtivo, pode ser chamada de madeira engenheirada (CROSSLAM, 2020).

No Brasil, a madeira engenheirada vem de floresta plantada, com certificações que indicam a procedência da madeira, garantindo a sua sustentabilidade (CROSSLAM, 2020). Nesse contexto, a matéria prima renovável, tem baixíssimo impacto ambiental quando comparada a outros materiais construtivos, contribuindo com a desaceleração do aquecimento global. Vale ressaltar que, o Brasil, por possuir uma vasta área florestal, pode se aproveitar desta tecnologia para se tornar uma referência no setor (MARTINI, 2013).

Esse material possui uma resistência elevada, com altíssimo controle de qualidade e com baixa densidade, principalmente quando comparada a elementos como o aço. Tal fato faz com que a estrutura seja muito mais leve, facilitando o processo construtivo e gerando menos esforços nas fundações, diminuindo os custos da construção. Ademais, a madeira engenheirada é projetada de forma muito precisa e praticamente sem limite de

tamanho, sendo o transporte o único empecilho. Além disso, a versatilidade desse elemento podendo ser facilmente manipulada e promover mais liberdade para projetos de engenharia e arquitetura é muito bem-vista (CROSSLAM, 2020).

Para realizar o processamento da madeira, algumas etapas devem ser concluídas, como: Seleção das peças de madeira, eliminando nós, rachaduras, trincas e deformações; Tratamento para evitar o ataque de microrganismos; Alinhamento das fibras e colamento das lamelas, transformando as peças em lâminas, tábuas ou alguma outra estrutura desejada. O produto gerado no final de todo este processo é conhecido como madeira engenheirada (CROSSLAM, 2020). Essas estruturas podem ser divididas em três tipos, são elas:

- Madeira Laminada Colada (GLULAM ou MLC)
- Madeira Laminada Cruzada (CLT)
- Madeira Micro-Laminada (LVL)

Cada tipo de madeira engenheirada possui propriedades e aplicações específicas, no entanto, quando utilizadas em conjunto, podem se complementar muito bem. No geral, a MLC é utilizada para pilares, vigas e até mesmo contraventamentos. A CLT é aplicada em lajes de edifícios e paredes estruturais. Além disso, a LVL é utilizada para produzir vigas mais resistentes. Ao combinar todos esses elementos em uma obra, temos uma construção de madeira massiva ou, em inglês, “masstimmer”. Esse sistema de construção proporciona uma solução inovadora e sustentável, contribuindo na luta contra as mudanças climáticas e no manejo sustentável das florestas (DIAS, 2018).

Um dos maiores prédios de madeira do mundo, na Noruega, possui cerca de 85 metros de altura e foi construído com Madeira Laminada Cruzada (CLT) e Madeira Laminada Colada (MLC). Esse edifício se tornou um caso de estudo, mostrando que as novas tecnologias para construções com a utilização de madeira têm se provado muito

eficientes. A MLC foi utilizada para as colunas e vigas, enquanto a CLT para paredes estruturais e lajes. Vale ressaltar que, como as peças são pré-fabricadas, a obra é relativamente rápida, mesmo com a sua alta complexidade. No entanto, para edifícios dessa altura e dimensão, é necessário a utilização de placas de concreto nos pavimentos superiores atuando como contraventamento (CROSSLAM, 2020).

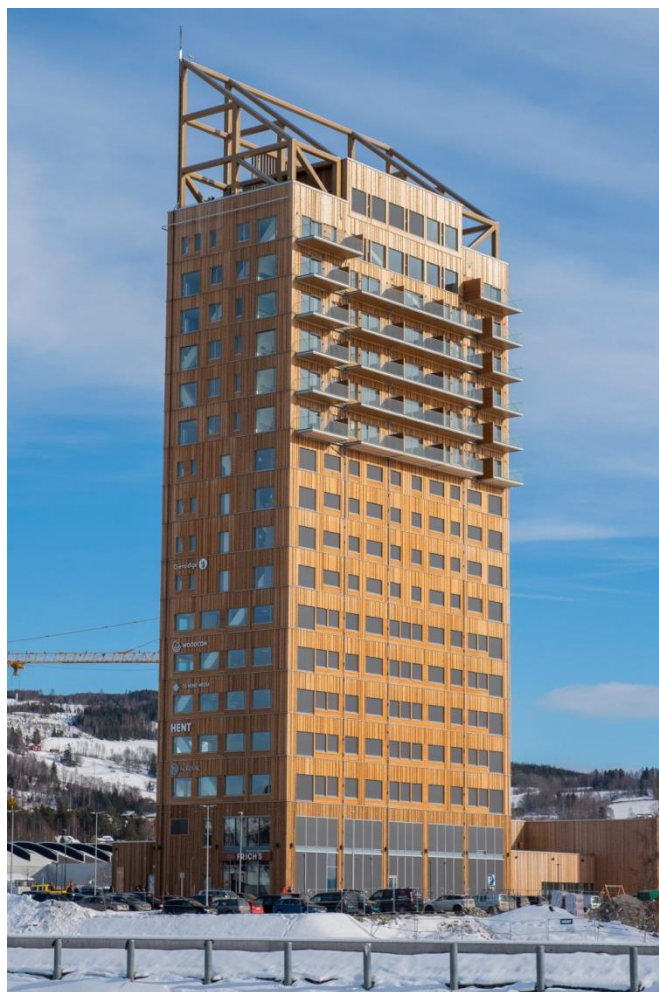


Figura 1- Edifício Mjøstårnet, Noruega
Fonte: Madeira e Construção, 2019.

Assim, a madeira engenheirada pode ser observada em construções comerciais e residenciais, promovendo o ressurgimento de construções da madeira em centros urbanos. Em Londres, o Edifício Murray Grove, considerado o primeiro empreendimento residencial feito com CLT em todas as paredes e lajes, se provou um case de sucesso (OLIVEIRA, 2018).



Figura 2-Edifício Murray Grove, Londres
Fonte: Waugh Thistleton, acesso em 2021.

2.1 Madeira Laminada Cruzada ou Cross Laminated Timber (CLT)

O CLT teve a sua tecnologia desenvolvida na Suíça e na Áustria, no início da década de 90, buscando agregar valor à indústria madeireira. As placas de CLT com suas grandes dimensões e espessuras, passaram a ser uma possibilidade de aplicação interessante em obras de engenharia, desafiando os materiais minerais que dominavam o mercado há mais de um século. A versatilidade das placas de madeira permitiu diferentes criações arquitetônicas, chamando a atenção de muitas pessoas (CROSSLAM, 2020).

A estrutura básica dessas placas largas e robustas de madeira, conhecidas em alemão por “BRETTSPERRHOLZ (BSP)”, é similar às placas de compensados. No entanto, a colagem de painéis de madeira minimiza os efeitos de retração e promove mais estabilidade dimensional (DIAS, 2018).

O termo “Brettspertholz” foi usado pela primeira vez em 1981 pelos engenheiros alemães Dröge e Stoy, para designar painéis colados

cruzados para pontes. Foi traduzido para o inglês “Cross Laminated Timber” por Schickhofer e Hasewend em 2000. Porém, existem estudos de que placas de madeira laminada colada cruzada já tinham sido estudadas no início do século 19, mais precisamente em 1908 por Schuchow e Kalep. O registro da primeira estrutura em CLT no mundo, uma pequena residência, se deu em 1993 feita por Schuler e Guyer. O CLT como conhecemos hoje, de forma engenheirada, teve sua primeira construção, também residencial em 1995, feita por Moser (CROSSLAM, 2020).

Desde então, a madeira laminada cruzada (CLT) é cada vez mais conhecida no mundo todo, caracterizada por ser um material muito versátil nas obras de construção civil. Sua fabricação vem aumentando, e devagar, em um processo contínuo, vai diminuindo o domínio de materiais minerais na construção civil em uma escala global. Em alguns países europeus, o CLT chega a disputar de igual para igual com o aço e o concreto armado, em um segmento de edifícios multifamiliares (DIAS, 2018).



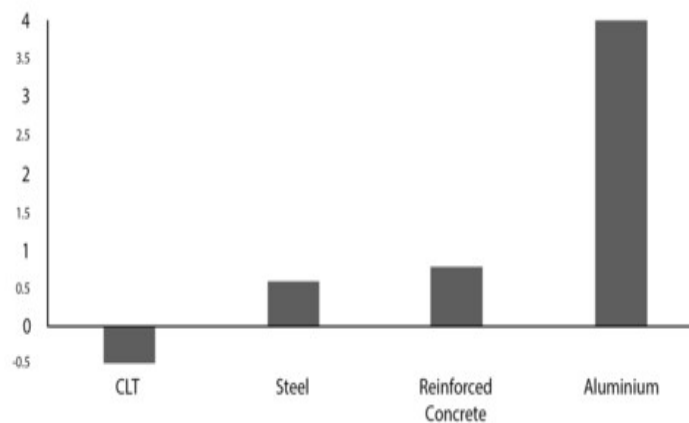
Figura 3-Blocos Habitacionais Puukuokka, Finlândia
Fonte: ArchDaily, 2020.



Figura 4-Tall Timber Building, Suécia
Fonte: ArchDaily, 2020.

O impacto ambiental do CLT quando comparado a elementos construtivos tradicionais, como o concreto, é muito menor. O cimento, componente do concreto, emite na atmosfera uma alta quantidade de gás carbônico, em contraponto, construções com madeira laminada cruzada, um elemento proveniente de florestas sustentáveis, promovem um processo denominado sequestro de carbono. Assim, apesar da energia gasta nos processos de extração e fabricação, a quantidade de carbono que essas construções “sequestram” promovem mais benefícios ao meio-ambiente (MARTINI, 2013; ARCHDAILY, 2020). No Gráfico 1, abaixo, é comparado o consumo de energia em GJ/m² na elaboração e produção de diferentes soluções construtivas.

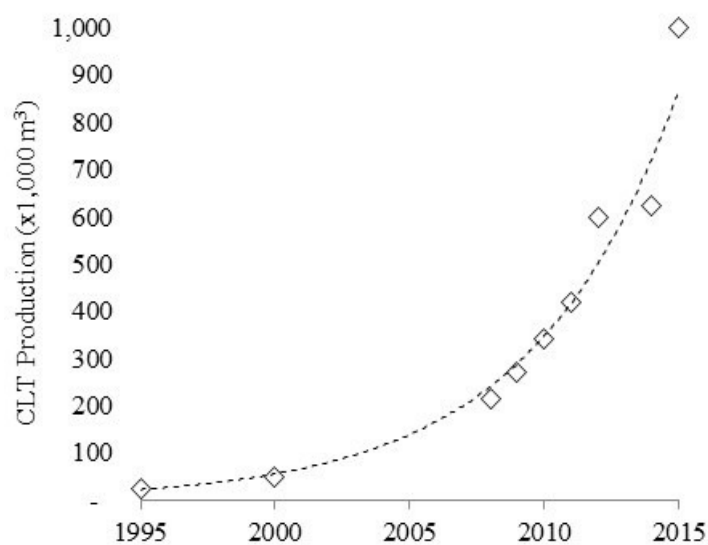
Gráfico 1- Comparativo do Consumo de Energia



Fonte: ArchDaily, 2020.

Nesse contexto, as placas de CLT são todas pré-fabricadas levando em consideração os vãos para as janelas, portas e até mesmo as instalações, tudo isso com altíssima precisão. Essa tecnologia tem chamado a atenção devido a sua alta velocidade de montagem, menores gastos com mão-de-obra e baixíssima poluição sonora no momento de execução das obras. Vale destacar também que, o CLT pode, inclusive, ser aplicado em edifícios altos, a partir de 8 - 12 andares, permitindo uma grande economia de tempo na obra. Esses fatores apresentados garantiram um alto crescimento no número de projetos com esse material nos últimos anos (DIAS, 2018).

Gráfico 2- Histórico da Produção Global de CLT



Fonte: Carpinteria, 2018.

As placas de CLT desempenham muito bem no combate a incêndios, muitas vezes, até melhor do que estruturas de concreto e aço. Suas características herméticas, ou seja, uma estrutura praticamente selada que impede a passagem de ar, dificultam a progressão do fogo em um espaço contido. Até mesmo uma placa sem revestimento, não possibilita que o incêndio se expanda. Além disso, a massa térmica sólida possibilita que um lado do painel de CLT esteja com uma temperatura muito elevada, enquanto o outro está em temperatura normal (CARPINTERIA, 2018).



Figura 5-Teste de Carbonização em uma Placa de CLT
Fonte: CARPINTERIA, 2018.

Vale destacar, também, que esses painéis garantem ótimo isolamento térmico e acústico. O ambiente hermético construído, dificulta que o calor saia por pequenas rachaduras, ajudando a preservar o ar quente. Esse sistema é ideal para casas passivas, isolando o ambiente de forma a não necessitar de nenhum tipo de sistema de aquecimento e mantendo a temperatura estável durante o dia. Em relação à acústica, as paredes de “masstimber” possuem excelente isolamento acústico, ideal para manter a privacidade no ambiente (CARPINTERIA, 2018).

Fatores externos podem impactar drasticamente a durabilidade das estruturas de madeira. Assim, as placas de CLT não devem ficar expostas a umidade, já que isso pode comprometer o desempenho estrutural do material. Dessa forma, os painéis de madeira laminada cruzada de casas e edifícios recebem camadas de revestimento, evitando a

troca de umidade entre a madeira e o meio externo (DIAS, 2018; CARPINTERIA, 2018).

A indústria da construção civil é uma das maiores produtoras de resíduos do Brasil, devido a majoritária utilização de concreto nas obras e o descaso com o meio-ambiente. As placas de CLT, são produzidas com alta precisão e para uso específico, minimizando drasticamente a produção de resíduo nas construções. Além disso, esses painéis são recicláveis e, ao fim de sua vida útil, podem ser remodelados.

2.1.1 Estrutura da Madeira Laminada Cruzada

Primeiramente, a partir de um projeto arquitetônico, é iniciada a modelagem dos painéis de CLT em programas computacionais. Assim, as dimensões dessas placas, os vãos para instalações e os locais onde as esquadrias entrarão são determinados. Além disso, também é levado em conta o transporte dessas peças e as condições de montagem, já que isso é uma restrição de tamanho para esses painéis. Posteriormente, o modelo de cada painel é separado e distribuído, de forma a otimizar a produção e reduzir possíveis desperdícios (OLIVEIRA, 2018).

As tábuas de madeira, após secagem em estufa e já tratadas contra o apodrecimento e cupins, são visualmente analisadas para garantir um controle de qualidade, removendo defeitos como nós e pedaços de cascas que possam prejudicar o desempenho estrutural da madeira (OLIVEIRA, 2018; CROSSLAM, 2020).

As ligações finger-joints, são responsáveis pela emenda das lamelas, permitindo que os comprimentos das peças de CLT sejam maiores. Essa ligação é caracterizada por cortes triangulares no topo dessas tábuas que aumentam a superfície de contato e permitem que elas sejam coladas com alta eficiência. Vale destacar que a posição dos

finger-joints pode ser transversal ou longitudinal. Após esses processos, a madeira passa por uma máquina para aplainamento nas quatro faces das lamelas (DIAS, 2018).

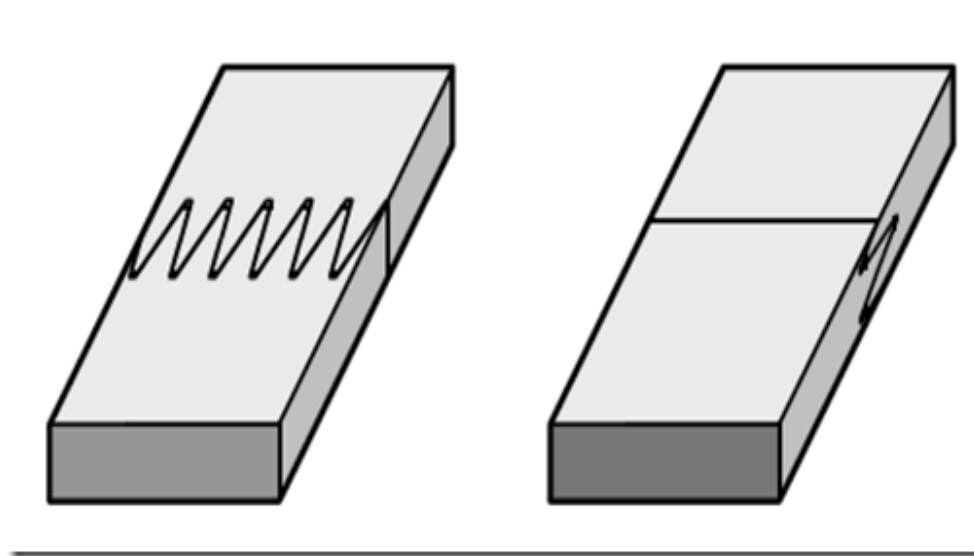


Figura 6-Finger-joints em Posição Transversal e Longitudinal
Fonte: CARPINTERIA, 2018.

Nesse momento, as lamelas são organizadas na prensa a vácuo em um mesmo sentido e nos respectivos comprimento e largura desejados para o painel de CLT. A partir disso, com auxílio de um trilho, é aplicado um adesivo de poliuretano sobre toda a superfície dessa camada de lamelas, tendo a função de colar e garantir que essas camadas sejam a prova d'água. Em seguida, é disposta uma outra camada de lamelas acima, com sentido perpendicular à camada anterior. Seguindo esse ideal de lamelas cruzadas vão sendo coladas as novas camadas. Vale destacar que geralmente são números ímpar de camadas como: 3, 5, 7, 9 (CROSSLAM, 2020).

Após a sobreposição dessas camadas, um pistão lateral empurra as lâminas tanto no eixo horizontal como no vertical, de forma a colá-las lateralmente. Então, com o auxílio de uma lona de borracha, é acionado um vácuo, fazendo com que a borracha prenda essas lâminas, gerando uma pressão negativa bem alta que promove uma prensagem uniforme em todo o painel de CLT. Vale destacar que existem outros processos de

prensagem, no entanto, o processo descrito é o mais comum no Brasil (CROSSLAM, 2020).

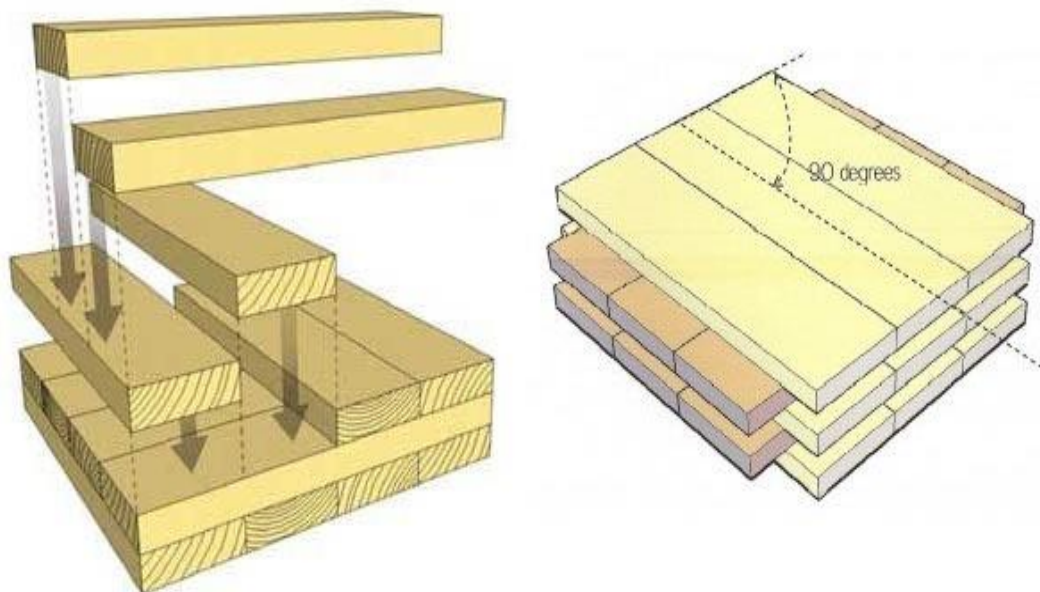


Figura 7-Disposição das placas de CLT
Fonte: CARPINTERIA, 2018.

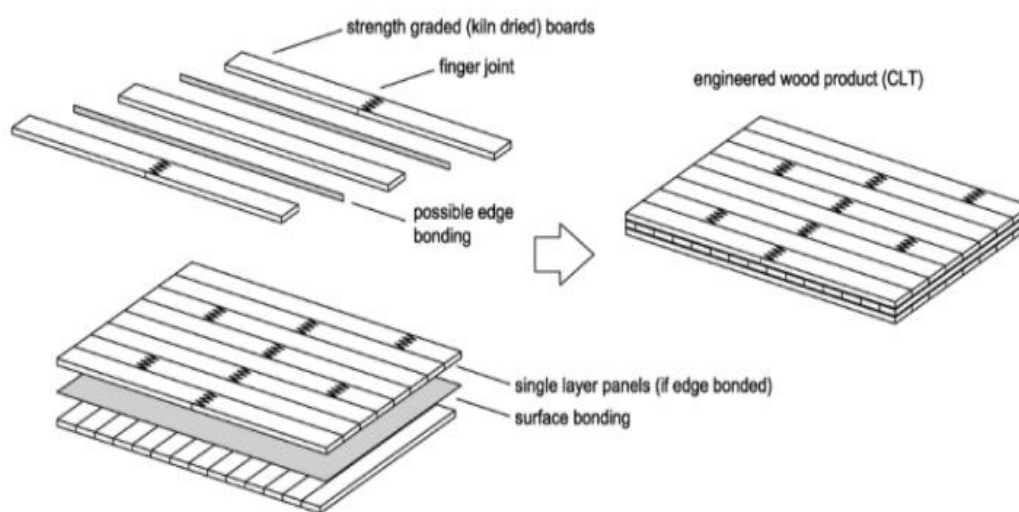


Figura 8-Estrutura do CLT
Fonte: DIAS, 2018.

As placas de CLT saem das prensas e são encaminhadas para um equipamento computadorizado (CNC) que realiza os cortes, com precisão milimétrica, nessas estruturas. Assim, ao comparar com o concreto, é evidente que a madeira engenheirada é extremamente mais precisa, contribuindo para um encaixe praticamente perfeito nas

obras. Além disso, a extensão do equipamento responsável pelos cortes, possui vários encaixes, permitindo os mais diversos cortes projetados por arquitetos (CROSSLAM, 2020).

Nesse contexto, as camadas de madeira dispostas em uma organização ortogonal é o que proporciona um grande destaque para esse material. A resistência da madeira na direção paralela às fibras é superior a resistência na direção perpendicular às mesmas. Tal fato, explica a necessidade de organizar as camadas de lamela de forma ortogonal, entrelaçando as fibras e aumentando muito a resistência das placas (BRITTO, 2021).

A definição do CLT pela ANSI (Norma Americana) é a seguinte: “O CLT é um produto de madeira engenheirada pré-fabricada feito de pelo menos 3 camadas ortogonais de madeira laminada serrada que são coladas com adesivos estruturais para formar um sólido retangular, moldado para aplicações em telhados, pisos ou paredes (CARPINTERIA, 2018).

A produção do CLT deve passar por todas as etapas expostas acima de forma a construir painéis de alta confiabilidade, que possam bater de frente com estruturas de concreto e aço, que dominam o mercado da construção civil brasileiro. A seguir, na figura 7, é possível observar um fluxograma que ajuda a compreender todo o processo construtivo do CLT, desde a matéria prima até a fabricação dos painéis e montagem do edifício.

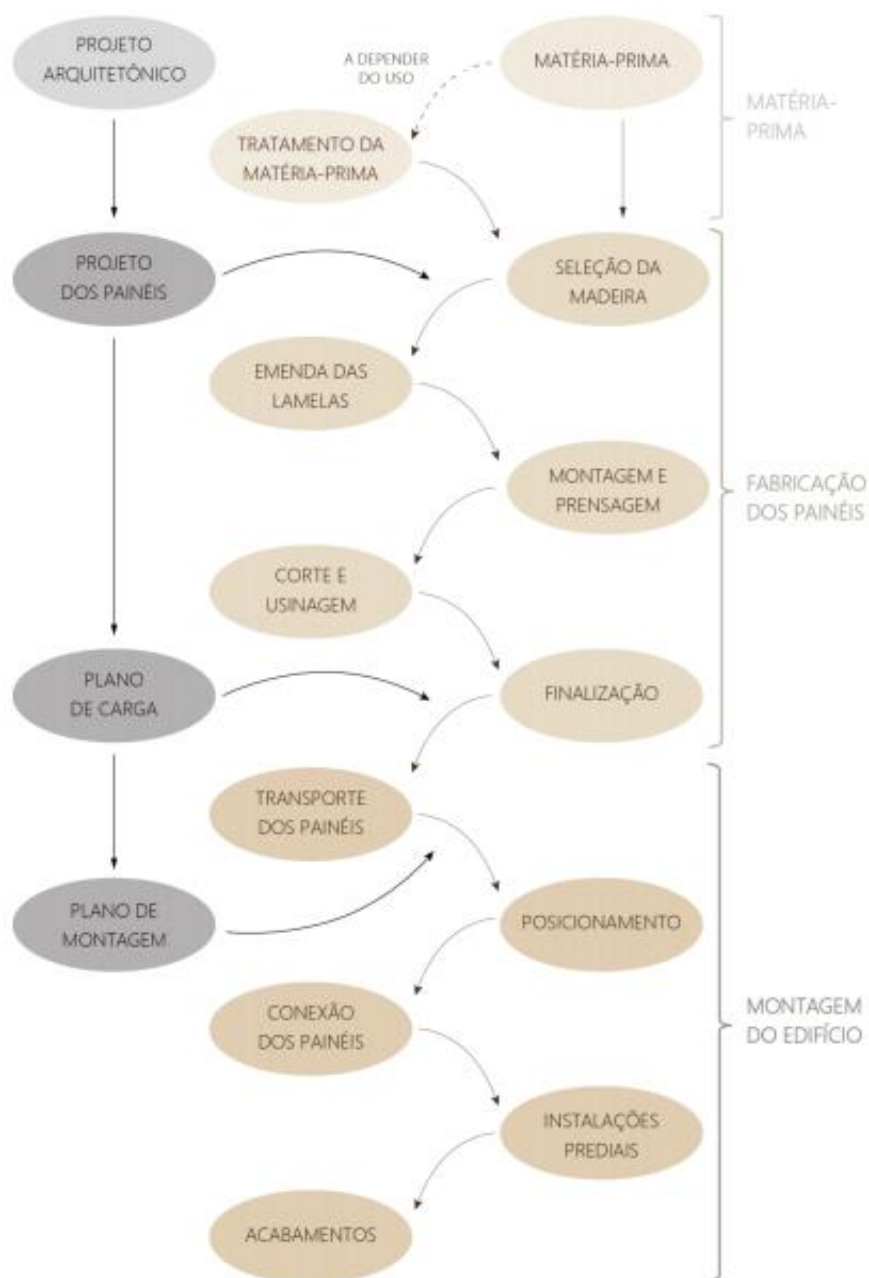


Figura 9- Processo Construtivo com CLT
Fonte: OLIVEIRA, 2018.

2.2 CLT no Brasil

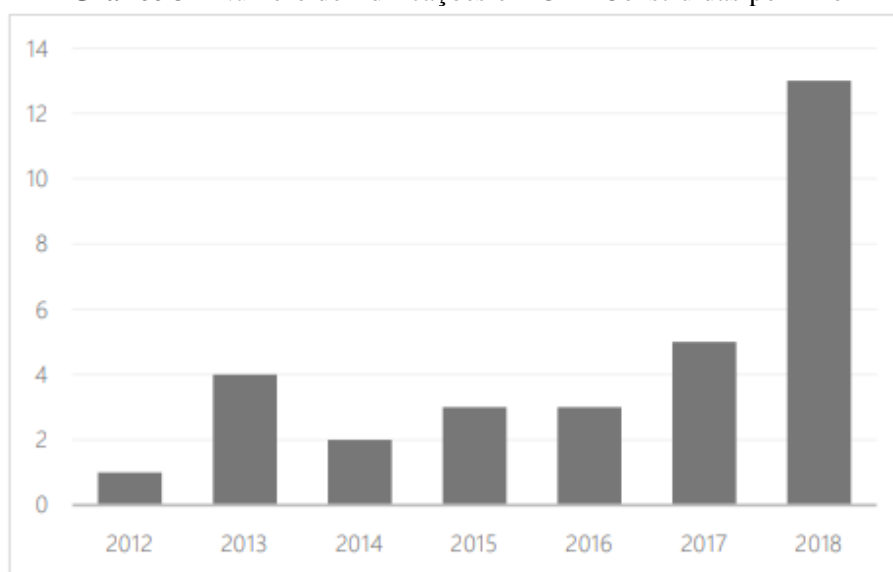
Tendo em vista os fatos expostos acima, é evidente que o CLT é muito mais utilizado em países da Europa e América do Norte, quando comparamos a aplicações em nosso país. O Brasil, historicamente, demora para adotar e criar regulamentações para novas tecnologias em geral, assim todas as bibliografias e referências técnicas

acerca dessa inovação estrutural são, majoritariamente, de países europeus. Hoje, temos um fabricante muito conhecido e dominante no mercado de madeira engenheirada em território brasileiro, a empresa CROSSLAM, com fábrica situada no interior de São Paulo (OLIVEIRA, 2018; CROSSLAM, 2020).

As construções com CLT, no Brasil, até o presente momento, ainda são tímidas e com menores dimensões, no geral são edificações com um ou dois pavimentos. Levando em consideração, as construções apresentadas nos primeiros tópicos, é evidente que o nosso país ainda está começando nesse mercado. Isso pode ser facilmente explicado pela falta de normas, referências e regulamentação da madeira engenheirada no Brasil, até hoje, poucas pesquisas foram desenvolvidas sobre este tópico (OLIVEIRA, 2018).

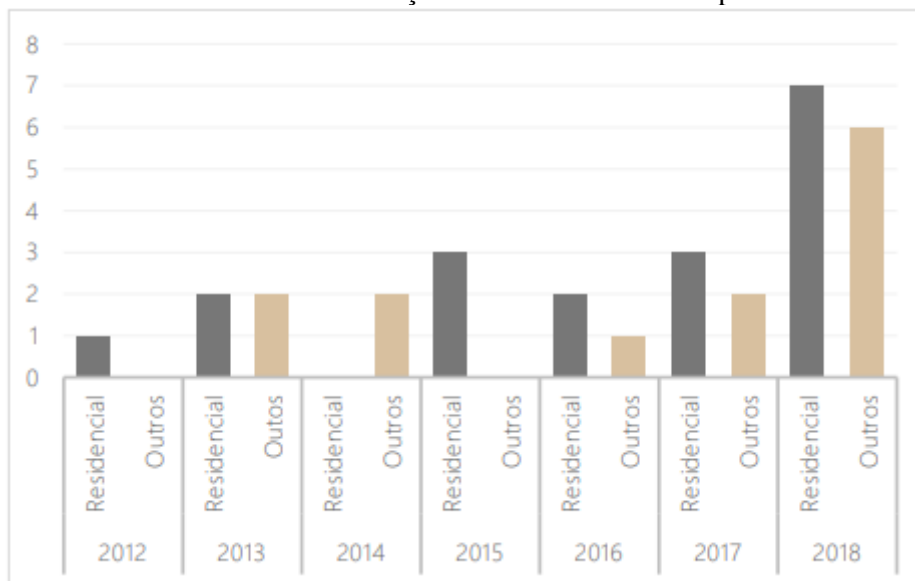
Entretanto, alguns dados e análises históricas apontam uma evolução em aplicações de CLT no Brasil. Nos gráficos abaixo, podemos compreender melhor o que de fato está acontecendo em solo brasileiro, tendo como base o estudo e interpretação de Gabriela Lotufo Oliveira, em 2018 na sua tese de pós-graduação.

Gráfico 3 - Número de Edificações em CLT Construídas por Ano



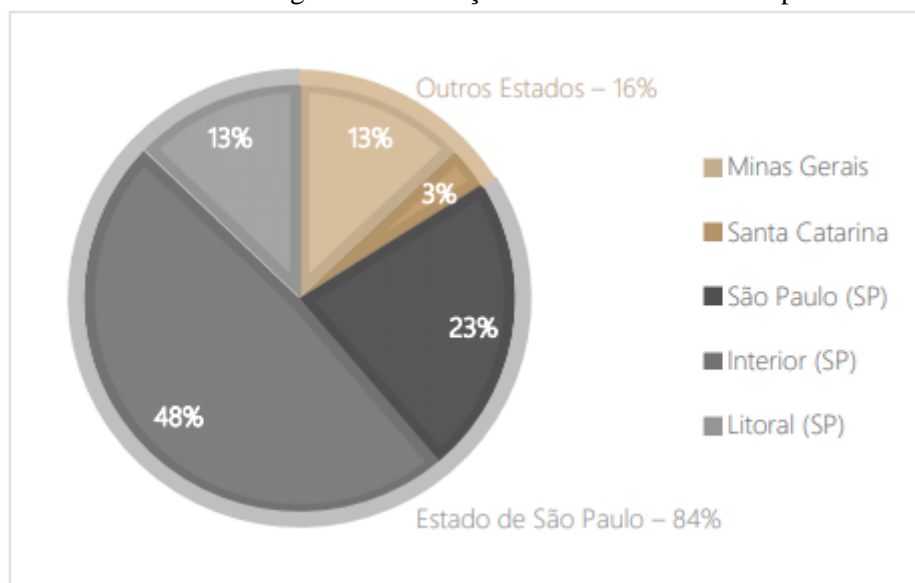
Fonte: OLIVEIRA, 2018.

Gráfico 4- Número de Edificações em CLT Construídas por Uso e Ano



Fonte: OLIVEIRA, 2018.

Gráfico 5- Porcentagem de Edificações em CLT Construídas por local



Fonte: OLIVEIRA, 2018.

Dessa forma, ao analisar o Gráfico 3, é possível concluir que com o passar dos anos a quantidade de edificações em CLT, no Brasil, aumentou de forma exponencial, o que expressa o potencial dessa estrutura construtiva para os próximos anos. Vale observar, também, o caso de uso dessas edificações nos seus respectivos anos de construção (Gráfico 4), demonstrando que a aplicação residencial é mais dominante e que a utilização em outros setores só aumentou em 2018, quando o CLT já era mais

consolidado e confiável. Por fim, ao observar o Gráfico 5, é evidente que as construções em CLT estão presentes majoritariamente no Estado de São Paulo, cerca de 84%. Isso pode ser explicado pelo fato de São Paulo ser o maior polo consumidor do Brasil e da maior fábrica de CLT estar localizada no interior de SP, facilitando e reduzindo custos do transporte dos painéis de madeira engenheirada (OLIVEIRA, 2018).

Nesse contexto, esses dados apresentados, indicam uma boa perspectiva para o aumento na quantidade de edificações com CLT nos próximos anos. Com o aumento de referências técnicas, normas atualizadas e disseminação dessa tecnologia inovadora, a madeira laminada cruzada tem tudo para se consolidar no âmbito da construção civil no Brasil (OLIVEIRA, 2018). A seguir, é possível observar algumas construções com CLT em território brasileiro.



Figura 10- Residência em Itu, CLT Utilizado para as Lajes e Cobertura
Fonte: OLIVEIRA, 2018.



Figura 11- Casa no Vale do Parnaíba, CLT com função estrutural
Fonte: OLIVEIRA, 2018.



Figura 12- Escritório em Suzano, Estrutura com CLT
Fonte: OLIVEIRA, 2018.

3 Estruturas Mistas Madeira-Concreto

Uma das premissas para a elaboração de projetos de estruturas na atualidade é a aplicação adequada dos diferentes tipos de material para os diferentes tipos de locais e situações. Por volta do início do século passado, estruturas mistas de aço-concreto

foram fortemente pesquisadas e utilizadas no mercado ainda na década de 30 e 40, refletindo em aplicações de sucesso desse modelo (MIOTTO, 2009).

Tendo como referência o passado recente, estruturas mistas de madeira-concreto iniciaram um novo ciclo de pesquisas na área, tendo como principais causas a mudança de mentalidade de alguns setores que já buscavam o viés mais sustentável, outro fator foi redução de custos promovido pela otimização no processo construtivo e menor número de colaboradores para a execução da obra.

A escassez de madeiras nobres e nativas promoveu o surgimento de técnicas e alternativas que visam a racionalização de seu uso e, sobretudo, a utilização de madeiras provenientes de florestas plantadas, em especial o pinus e o eucalipto. Devido às considerações levantadas, as estruturas mistas de madeira-concreto vêm sendo utilizadas com sucesso em estruturas de edificações residenciais, comerciais e industriais (MIOTTO, 2009).

Para o melhor entendimento das lajes mistas (CLT)-concreto será apresentado o caso das lajes mistas steel deck, pois possuem funções e características similares, como a necessidade de conectores entre as interfaces para gerar uma única estrutura rígida. Além do fato do steel deck ser uma estrutura fortemente difundida e consolidada no mercado.

3.1 Lajes Mistas Steel Deck

O steel deck é um grande caso de sucesso de estruturas mista com alta demanda em construções de grande porte, sendo interessante para superar grandes vãos. Já possuindo inúmeros trabalhos de pesquisa e teses sobre o assunto, assim como normas próprias como a NBR 8800:2008 que define os importantes processos de execução a serem seguidos e a NBR 16421:2015 para os padrões de telha-fôrma (DIAS; ABREU, 2018).

Tendo feito tais considerações o steel deck é um tipo de laje mista na qual se utiliza de telhas metálicas para duas funções principais, fôrma durante a concretagem, e elemento resistente após o endurecimento do concreto, sendo assim denominada de telha-fôrma (SIENGE, 2020).

Por serem estruturas mais leves e práticas para montar, aceleram o ritmo da construção, trazendo facilidade na execução com redução no desperdício de material. Sendo assim um estímulo para o investimento por parte do mercado que busca cada vez mais características como essas para substituir os já ultrapassados métodos construtivos (ACOPLANO, 2017).

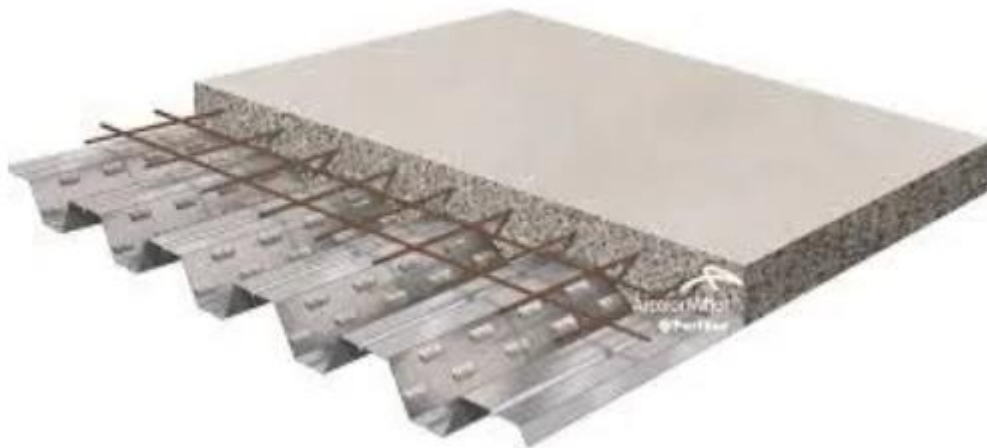


Figura 13 - Elementos do steel deck
Fonte: SIENGE, 2020.

3.1.1 Conectores Steel Deck

Os conectores de cisalhamento como stud bolts ou até perfis têm a função de transferir o cisalhamento longitudinal na interface aço-concreto, a fim de impedir o deslizamento relativo entre os dois materiais, assim devendo ser devidamente especificadas em projeto atendendo a NBR 8800:2008 (AECWEB, 2021).

Os stud bolts se fazem fundamentais à medida que é por meio destes que é possível formar uma ligação rígida na interface aço-concreto, assim possibilitando a transmissão

de esforços entre os elementos, passando a trabalhar como uma única estrutura propriamente mista (AECWEB, 2021).

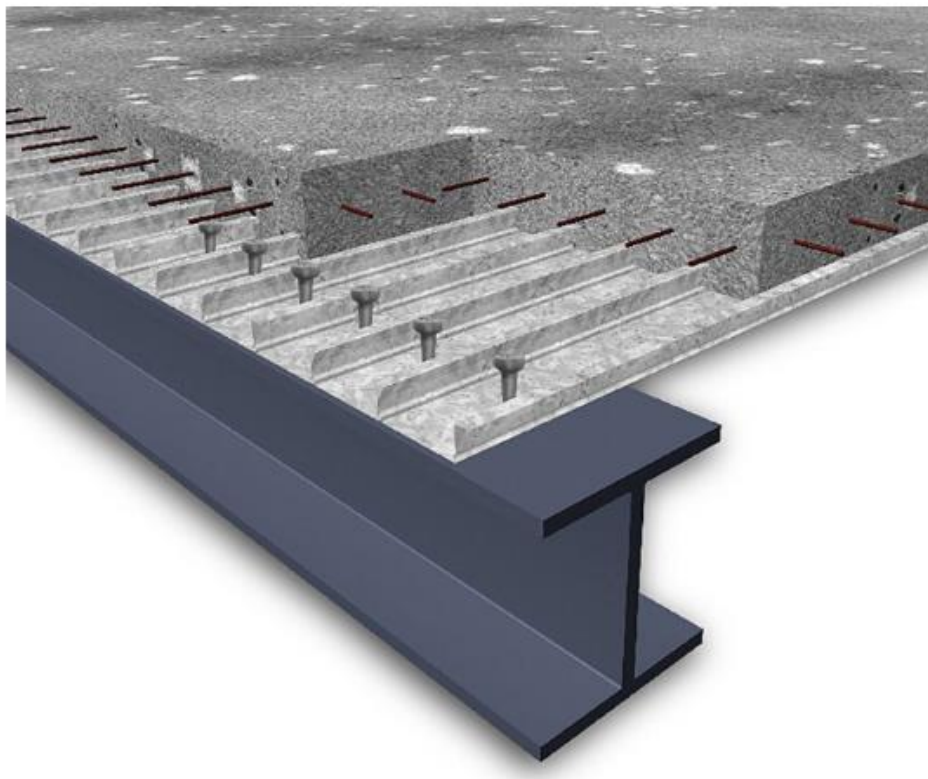


Figura 14 - Conectores chapa-viga
Fonte:GASPAR, 2020.

3.2 Método Construtivo e Conectores Madeira-Concreto

Tendo em vista os ideais do Steel Deck tratados acima, é evidente que estruturas mistas madeira-concreto possuem diversas analogias em seus casos de uso. Com relação ao método construtivo, as estruturas de madeira-concreto podem se utilizar de escoramentos tradicionais de forma que a carga do concreto ainda não endurecido não solicite os painéis de madeira (MIOTTO, 2009).

Uma das principais preocupações em estruturas de madeira é a exposição direta às intempéries, principalmente a troca de umidade, que gera deterioração, comprometendo a segurança das edificações. Sendo assim as estruturas de madeira-concreto se complementam de modo que os possíveis problemas referenciados anteriormente sejam

amenizados ao associar uma laje de concreto à mesma. Gerando também a melhora no comportamento mecânico e o prolongamento da vida útil da estrutura (MIOTTO, 2009).

A figura 15 ilustra o sistema de conexão patenteado pela empresa alemã HBV Systeme, que é composto por uma chapa de aço perfurada e galvanizada que conecta a madeira ao concreto, permitindo otimizar a utilização dos materiais. Assim, idealmente, a madeira é colocada na região tracionada, enquanto o concreto é colocado na região de compressão da seção mista. No entanto, não existe garantia que o concreto esteja sempre comprimido, ainda mais quando se afasta da região da viga. Esse modelo possibilita um ganho de resistência e rigidez, assim como redução de peso (MIOTTO, 2009).

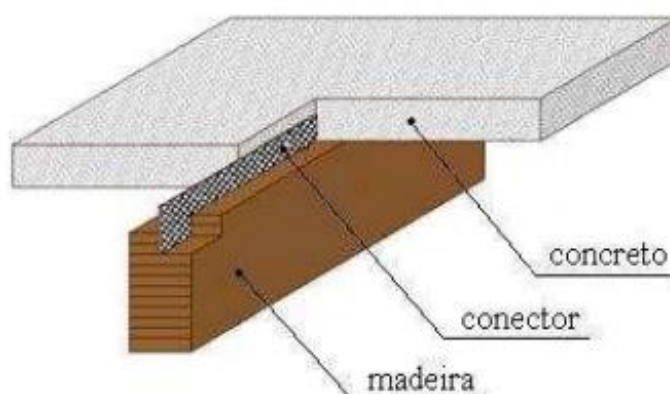


Figura 15 - Estrutura mista de madeira-concreto
Fonte: Adaptado de HBV - Systeme (2006).

Para o melhor aproveitamento desse sistema misto é imprescindível a utilização de um conector que transfira os esforços de cisalhamento horizontal e impeça o deslocamento relativo entre os elementos. Existem dois tipos de sistema, o rígido e o flexível. O rígido é promovido pela aplicação de um adesivo epóxi no local de contato entre as duas partes para impedir o deslocamento entre elas. Já o flexível é proveniente da utilização de conectores metálicos, como parafusos, pregos, chapas metálicas ou anéis metálicos. Vale destacar que o sistema flexível tem menor custo e é de fácil execução em uma obra (MIOTTO, 2009).

Porém vale destacar que o conector HBV, possui um custo elevado podendo inviabilizar o empreendimento, por isso outros sistemas de conexão podem ser usados como a conexão com entalhes na laje de CLT para que o concreto se molde nesses entalhes.



Figura 16 - Conexão entre o Concreto e Placa de CLT
Fonte: CROSSLAM, 2020.

A seguir, serão apresentados diversos benefícios do emprego de um sistema misto madeira-concreto no âmbito da construção civil:

- Agilidade Construtiva - As peças de madeira são pré-fabricadas e leves, necessitando de menos mão-de-obra nas construções, acelerando o andamento da obra (MIOTTO, 2009).
- Resistência a esforços em ambas as direções - Como as lamelas são montadas na posição longitudinal e transversal, permite mitigar os efeitos da anisotropia (MIOTTO, 2009).
- Capacidade de resistir a compressão e a tração - O concreto possui uma alta resistência à compressão e a madeira resiste bem aos esforços de tração (MIOTTO, 2009).

- Eficiência no combate a incêndios - A camada de concreto é um empecilho para alastrar o incêndio, evitando com que o fogo alcance alguns dos painéis de madeira (MIOTTO, 2009).
- Aumento de massa estrutural –Permite uma melhora na resposta dinâmica da estrutura, mudando a sua frequência natural (CROSSLAM, 2020).

4 Lajes Mistas de Edificações com Madeira Engenheirada

O CLT tem a capacidade de ser utilizado como laje mista, combinando a madeira com outros materiais, como o concreto. Essa combinação traz inúmeros benefícios para uma estrutura e possibilita a construção de edifícios de múltiplos andares (CROSSLAM, 2020).

Na figura 17, a seguir, é possível observar uma representação de laje mista de madeira-concreto armado. A madeira fica por baixo, resistindo à tração, o concreto armado fica por cima, resistindo à compressão e os conectores de esforços cisalhantes unem esses dois materiais (CROSSLAM, 2020). Vale destacar, novamente, que não há garantia de que o concreto esteja sempre comprimido.



Figura 17 - Laje Mista
Fonte: CROSSLAM, 2020.

Com base no apresentado anteriormente acerca do Steel Deck, é evidente que esse conector metálico da imagem acima (figura 17), é análogo ao stud bolt, cumprindo o mesmo papel estrutural.

As lajes mistas de madeira-concreto promovem um melhor isolamento acústico. Ao adicionar concreto sobre a laje de madeira (CLT), a passagem do som é dificultada. Além disso, esse aumento de massa no piso é fundamental para melhorar a resposta dinâmica da estrutura, já que a madeira possui uma taxa de vibração muito baixa. Essa mudança na frequência natural do material é essencial para que edifícios de elevada altura e dimensão sejam construídos (CROSSLAM, 2020).

Ademais, a laje de madeira laminada cruzada é muito elástica, logo possui uma ressonância muito alta, então é necessário algum elemento que segure essa vibração. Caso a laje fosse feita apenas de CLT, o grande movimento de pessoas poderia causar uma vibração natural do material, por isso que geralmente as lajes da edificação possuem uma camada de concreto para segurar essas vibrações (CROSSLAM, 2020).

Além disso, no processo construtivo, existe uma diferença na montagem dos andares. Como a madeira possui uma deformação com o tempo, devido a alterações na

estrutura das fibras da madeira e deslizamento relativo conhecido como fluência, então de andar para andar é necessário a colocação de alguns calços metálicos para poder compensar o esmagamento do peso proveniente do andar de cima (CROSSLAM, 2020).

O desempenho estrutural de lajes mistas de madeira-concreto é positivamente surpreendente. A capacidade de carga de uma laje de madeira tradicional geralmente é consideravelmente menor comparada a uma laje feita da combinação entre madeira e concreto (MIOTTO, 2009). Ao comparar com lajes de concreto convencionais, essas lajes mistas promovem uma construção muito mais rápida e limpa. Outra vantagem desse sistema, é a capacidade de suportar vãos maiores com menos material, gerando uma economia e potencializando o lucro do projeto (CROSSLAM, 2020).

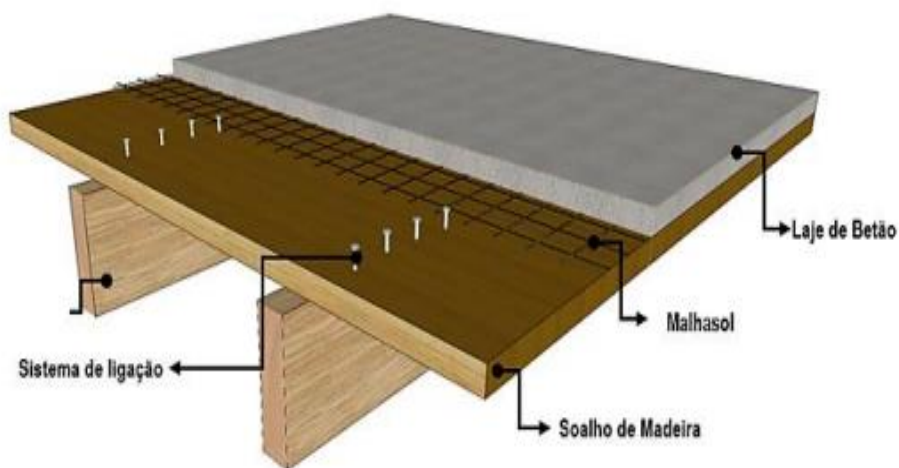


Figura 18 - Representação de uma Laje Mista Madeira-Concreto (Betão)
Fonte: FERNANDES, 2016.

Na sequência, é possível identificar um esboço (figura 19) de laje mista feito pela empresa CROSSLAM. Os painéis de CLT já estão com os conectores de cisalhamento e uma armadura de aço, faltando apenas lançar o concreto. É de grande importância ressaltar que esta é uma das diversas possibilidades de combinar o concreto e a madeira (CLT) para desenvolver lajes mistas.

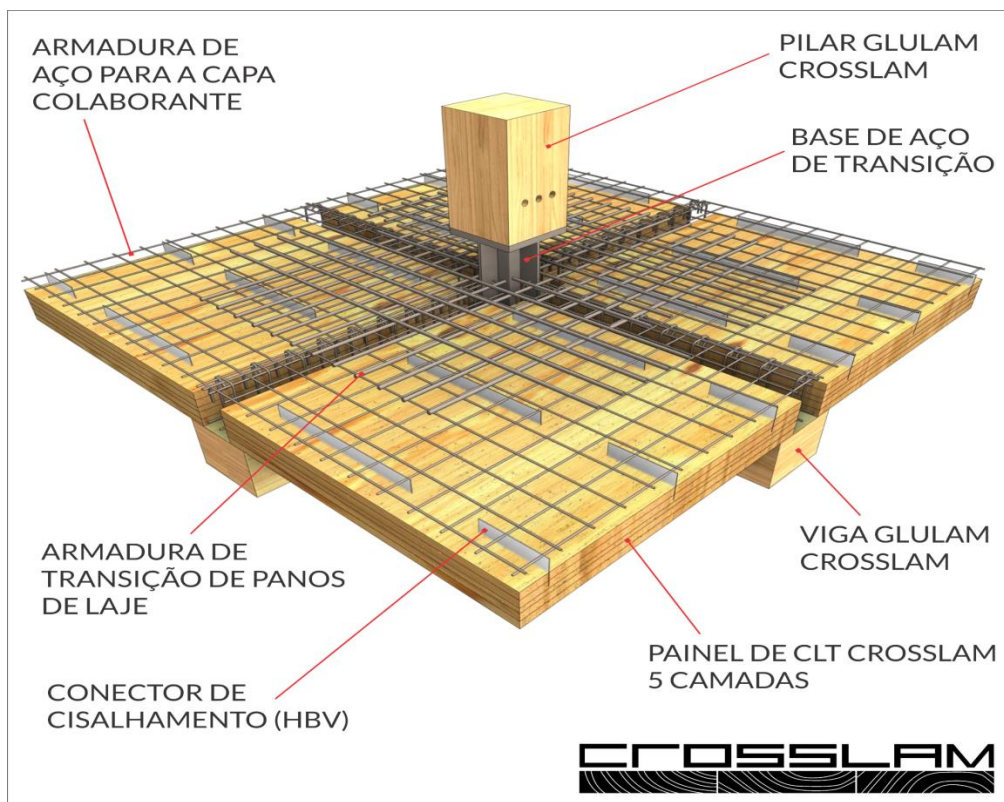


Figura 19 - Estrutura de Laje Mista de Madeira-Concreto

Fonte: CROSSLAM, 2020.

Vale destacar que, o custo de um piso (CLT)-concreto é muito competitivo ao ser comparado com um piso de concreto convencional. No entanto, não deve ser considerada apenas a relação custo/m², já que existem outros aspectos que contribuem para o barateamento da construção. Entre esses aspectos, pode-se citar: Menor quantidade de formas para concreto; Rapidez na execução da obra; Menor gasto com fundações devido a um menor peso estrutural (MIOTTO, 2009).

No Brasil, o concreto armado é o material mais utilizado em lajes de construções, no entanto, as lajes mistas de (CLT)-concreto possuem uma série de vantagens quando comparadas às mesmas. O processo construtivo é muito mais eficiente, com menor necessidade de escoramentos e baixo consumo energético. Além disso, a madeira engenheirada pode ser mais resistente ao fogo do que o aço. Por fim, vale destacar que lajes mistas madeira-concreto caminham na direção correta para um mundo mais sustentável e com menos resíduos construtivos (FERNANDES, 2016).

5 Pré-dimensionamento de Pannel de CLT e Comparação com Laje de Concreto (MPI)

O objetivo deste tópico é apresentar o pré-dimensionamento de um painel de CLT e comparar os seus resultados com uma laje de concreto maciça. Para fins de comparação, será utilizado a mesma planta de edificação para o pré-dimensionamento da laje de CLT e para a laje maciça de concreto.

Será apresentado a planta de forma do pavimento tipo (figura 20) que faz parte de um projeto denominado Metodologia de Projeto Integrado (MPI), na qual a idealização e implementação para os alunos da graduação de Engenharia Civil no ciclo profissional é fruto do trabalho em conjunto com o corpo docente da PUC-RIO, o projeto tem a finalidade de auxiliar na transição da teoria apresentada em aula para a prática do mercado de trabalho. Essa metodologia demonstra a multidisciplinaridade que cada projeto envolve. Em seguida, a figura 21, demonstra a laje que será utilizada para a comparação do pré-dimensionamento entre a laje de concreto e a laje de CLT.

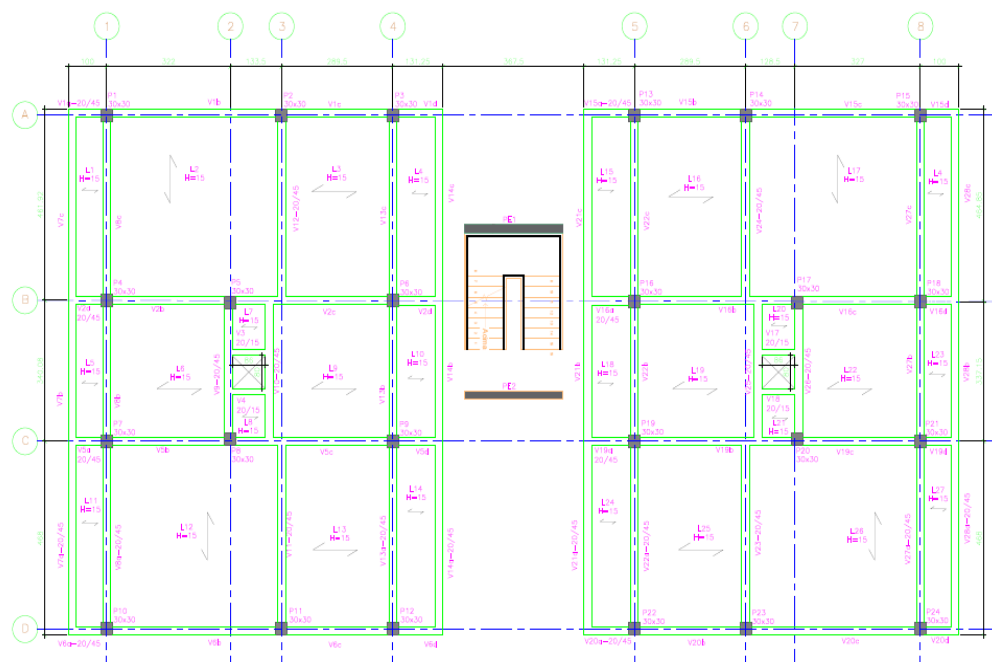


Figura 20 - Planta de Forma do Pavimento Tipo
Fonte: MPI, 2021.

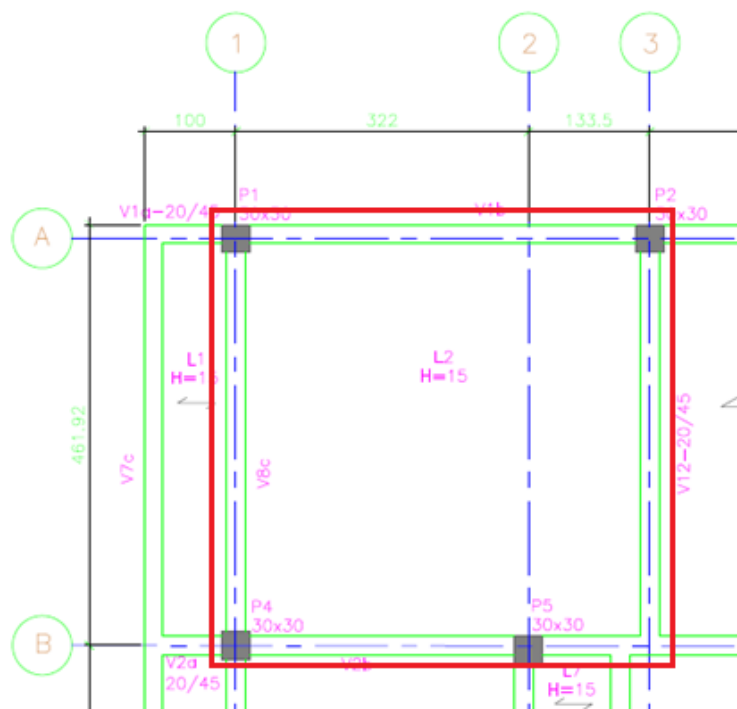


Figura 21 - Laje em Análise (L2)
Fonte: MPI, 2021.

As tabelas abaixo, permitem a obtenção de parâmetros essenciais para os cálculos apresentados posteriormente. Vale destacar que, foi considerado um edifício de caráter residencial para o dimensionamento.

Com base na Tabela 01, foi adotado um peso (carga permanente) de 1 kN/m^2 , já que o pré-dimensionamento está sendo feito para um edifício residencial. Além disso, levando em consideração a Tabela 02 e a arquitetura do projeto, a carga uniformemente distribuída (carga acidental) é de $1,5 \text{ KN/m}^2$.

Tabela 1 - Revestimento de Pisos e Impermeabilizações

Material	Espessura cm	Peso kN/m²
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	—	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	—	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7

Fonte: ABNT NBR 6120, 2018.

Tabela 2 - Cargas Distribuídas e Concentradas por Local

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m²	Carga concentrada kN
Cozinhas não residenciais ^a	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	3	—
	Câmara fria	5	—
Depósitos de uso geral ^a As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela.	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	7,5 kN/m ² até 2,5 m de altura de estoque + 3 kN/m ² por metro de altura de estoque excedente ^P	q
	Locais sujeitos ao acúmulo de mercadorias, incluindo zonas de acesso Materiais de armazenagem (ver 6.9) Supermercados (ver item nesta Tabela)	7,5	q
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	—
	Sala, copa, cozinha	1,5	—
	Sanitários	1,5	—
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	—
	Quadras esportivas	5 ^a	—
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	—
	Áreas de uso comum	3 ^a	—
	Academia	3 ^a	—
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	—
	Sótão	2 ^a	—
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	—
	Corredores de uso comum	3	—
	Depósitos	3	—
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
	Jardins (ver item nesta Tabela)		

Fonte: ABNT NBR 6120, 2018.

5.1 Apresentação dos Resultados do pré-dimensionamento da Laje de Concreto (MPI)

Destaca-se que a finalidade deste subtópico é apresentar os resultados dos cálculos de dimensionamento da laje maciça de concreto realizados ao longo do pré-desenvolvimento do projeto MPI, na disciplina de concreto armado II.

A escolha do concreto desse projeto foi feita com base nas normas da ABNT, que levam em consideração a localização da edificação e as condições ambientais ao redor. Temos uma classe de agressividade ambiental moderada (classe II), portanto um ambiente urbano, de acordo com a NBR 6118. Para essa classe, o concreto armado deve ser da classe C25 ou superior, a ser utilizado. Além disso, ainda com base nas tabelas da NBR 6118, o fator água cimento deve ser no máximo 0,6. No mais, o cobrimento para laje na classe II, deve ser de 2,5cm. Tendo definido o concreto, é possível definir suas propriedades, como resistência à compressão característica (f_{ck}) de 25 MPa. Além disso, o aço que será utilizado para a armadura do projeto será o CA-50 nervurado, pois têm uma excelente aderência ao concreto. Possui resistência de 500 MPa, e módulo de elasticidade de 210 GPa, de acordo com a NBR 7480.

O pré-dimensionamento da laje (L2), teve como resultado uma espessura de laje de 12 cm, com armaduras positivas de diâmetro igual a 6,3 mm com espaçamento de 17 cm nas duas direções. Além disso, com armaduras negativas de diâmetro de 6,3 mm com espaçamento de 12 cm e 14 cm. Sendo suficiente para suportar os esforços aplicados sobre a laje.

5.2 Pré-dimensionamento do Painel de CLT

Considerando a carga permanente como 1 KN/m², uma carga acidental de 1,5kN/m² e o tamanho do vão da Laje “L2” como 4,55 m, é possível fazer o pré-dimensionamento do painel de CLT com o auxílio da Tabela 03.

Tabela 03 - Pré-dimensionamento do CLT

CLT COMO LAJE DE PISO														
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FOGO), EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS SEM TESTE DE VIBRAÇÃO														
Carga permanente (g) [kN/m²] *	Carga acidental (q) [kN/m²]	VÃO SIMPLES, ℓ												
[kN/m²] *	CAT	3.00 m	3.60 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m				
1.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL			
		2.00			5C 140 DL		5C 160 DL	5C 200 DL						
		2.80					5C 180 DL							
	B	3.00	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL						
		3.60			5C 180 DL	5C 200 DL								
		4.00			5C 200 DL	5C 200 DL								
C	5.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 250 DL					
	5.50	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 250 DL					
	6.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 250 DL					
1.50	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL			
		2.00	3C 90 DL								5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL
		2.80												
	B	3.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL			
		3.60										3C 120 DL	5C 180 DL	5C 200 DL
		4.00										3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL
C	5.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 250 DL					
	5.50	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7C 250 DL					

* Além da carga, o peso próprio do CLT está considerado na tabela.

Resistência ao fogo:	R0	R30	R60	R90
----------------------	----	-----	-----	-----

Esquema de cargas e fixação da laje:

O diagrama mostra uma laje de CLT representada por uma barra horizontal branca apoiada em dois pontos triangulares (apoios). Acima da laje, há duas setas horizontais com setinhas verticais apontando para baixo, representando as cargas distribuídas: a superior é rotulada 'g' e a inferior é rotulada 'q'. Abaixo da laje, uma linha horizontal com setas em ambas as extremidades indica o comprimento do vão, rotulado com o símbolo matemático ℓ .

onde:

g = carga permanente
q = carga acidental
 ℓ = comprimento de flambagem

Fonte: CROSSLAM, 2020.

Vale destacar que, o peso próprio do CLT está considerado na tabela, na seção de carga permanente, e como o vão da laje “L2” é de 4,55 m, foi considerado o valor seguinte, 5 m, como o tamanho do vão simples. Assim, a partir destes parâmetros, foi pré-dimensionado um painel de CLT “3C 120 DL” com uma resistência ao fogo R30,

garantindo que o elemento estrutural mantenha sua capacidade resistente durante 30 minutos de exposição ao fogo.

Tabela 04 - Espessuras e Quantidade de Camadas do Painel de CLT

CAMADA SUPERFICIAL DO PAINEL DE LAJE NA DIREÇÃO LONGITUDINAL (DL)										
Espessura nominal [mm]	Quantidade de camadas	Espessura da lamela [mm]							Largura do painel padrão [m]	Comprimentos máximos do painel [m]
		L	T	L	T	L	T	L		
57	3 C	19	19	19					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
60	3 C	20	20	20					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
78	3 C	19	40	19					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
80	3 C	20	40	20					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
90	3 C	30	30	30					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
100	3 C	30	40	30					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
120	3 C	40	40	40					2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
95	5 C	19	19	19	19	19			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
100	5 C	20	20	20	20	20			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
120	5 C	20	40	20	40	20			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
140	5 C	40	20	20	20	40			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
160	5 C	40	20	40	20	40			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
200	5 C	40	40	40	40	40			2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
220	7 C	40	20	40	20	40	20	40	2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90
250	7 C	40	30	40	30	40	30	40	2,40 / 2,50 / 2,75 / 2,95	11,90

Fonte: CROSSLAM, 2020.

Ao observar a Tabela 04, pode-se afirmar que “3C” se refere a quantidade de camadas, ou seja, o painel pré-dimensionado possui 3 camadas. O termo “120” evidencia a espessura nominal da laje de 120 mm ou 12 cm. Já “DL” informa que a camada superficial do painel da laje é na direção longitudinal. Além disso, vale ressaltar que cada camada da placa de CLT possui 40 mm.

5.3 Comparativo dos Resultados da Laje de CLT em Relação a Laje de Concreto (MPI)

Um ponto de grande relevância a ser destacado é o peso da estrutura, que apesar da altura das lajes de CLT e concreto serem as mesmas (12 cm), devido ao fato da densidade da madeira ser menor em relação ao concreto e o aço, o peso da estrutura também será consideravelmente menor do que da laje de concreto. Isto, em uma análise global da estrutura, resulta em uma diferença significativa de carga que é transferida da estrutura para a fundação, resultando em menores gastos de material e custo, que são alguns dos fatores mais importantes para a viabilidade da obra.

Outro fator a se destacar é a capacidade que o CLT possui de superar grandes vãos por ser um material mais leve e que trabalha muito bem à tração e compressão, tendo como diferencial as lamelas cruzadas fazendo com que a laje resista mais aos esforços que são distribuídos transversalmente.

No que tange à resistência ao fogo, destaca **Silva (2013)** que esta é a propriedade de um elemento resistir à ação do fogo, mantendo sua integridade, segurança estrutural, estanqueidade e isolamento quando submetido a esse fenômeno. Geralmente essa resistência é medida segundo o tempo que o elemento suporta a ação do fogo produzido durante um incêndio. No Brasil, em termos de regulamentação técnica, esse tempo é definido pela NBR 14432 (**ABNT, 2001a**) - *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações*. Para cada elemento construtivo a norma estabelece uma resistência requerida mínima ao fogo, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), em função da altura, da ocupação e do uso de uma edificação (SCIELO, 2015).

Conforme a norma citada anteriormente para lajes de edificações com altura inferior a 45 m não necessitam ter TRRF maior que 90 minutos. A edificação utilizada no dimensionamento se encaixa nesta categoria, sendo no caso da laje de CLT um tempo de resistência de 30 minutos, para se adequar a norma seria necessário a utilização de mais camadas de madeira ou a aplicação de produto que retarde o tempo de queima do CLT (THÓRUS, 2019).

6 Conclusão

Como já se sabe, as lajes tradicionais de concreto implicam em um grande retardo no progresso de uma edificação, devida a confecção de fôrmas, armaduras, concretagem, o tempo de espera para subir novos pavimentos até a laje atingir a resistência mínima necessária e o escoramento que congestiona o andar abaixo da laje. Sem contar a grande quantidade de material desperdiçado, mão de obra e tempo mal aproveitados. O oposto ocorre com a utilização de lajes de CLT que são de rápida

montagem, sem sobras de material, leves e ao haver necessidade a própria laje de madeira serve como forma para mesclar com a laje de concreto.

Por esses motivos a madeira engenheirada e mais especificamente o CLT ganharam muita notoriedade na Europa e Estados Unidos no último século, tendo especialistas como o diretor da Royal College of Arts de Londres, professor Alex de Rijke, que apostam que a madeira será a principal matéria prima da construção civil no século XXI (DIAS, 2018).

Nesse contexto, o CLT chega ao Brasil sem normas específicas para sua utilização, carente de estudos e referências acadêmicas e tendo que superar uma grande resistência cultural devido ao preconceito da utilização da madeira em elementos estruturais já que, muitas vezes, há falta de contato com o material no país. Empresas como a Crosslam, pioneira na confecção de CLT no Brasil contribuem para reverter tabus como, a segurança em elementos estruturais de madeira e o desmatamento, utilizando somente madeira de reflorestamento. Tal fato é extremamente interessante pela renovação de árvores jovens que são as que mais contribuem para a retirada de carbono do ar.

Com isso é possível ver um mercado inteiro se formando ao redor das estruturas de madeira, desde a plantação de árvores até a extração, processamento, transporte, fabricação dos painéis de CLT e construção civil. Criando inúmeros empregos ao longo dessa cadeia, gerando mão de obra mais especializada para suprir a demanda desse mercado em crescente.

Assim, com este trabalho identificamos uma carência muito grande de referências e normas nacionais, principalmente no que desrespeito ao dimensionamento das estruturas com CLT, assim sendo necessário a utilização de normas Européias e Norte Americanas. Tais pontos devem avançar muito nos próximos anos, com a retomada do crescimento no setor após um longo período de pandemia da Covid-19, com empresas

investindo cada vez mais nesse material, por ser uma fonte renovável, limpa, eficiente e sustentável.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2018. **ABNT**. Disponível em: <https://www.acad.eng.br/wp-content/uploads/2018/09/2018.08-NBR-6120.pdf>. Acesso em: 08 out. 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - especificação. Rio de Janeiro, 2008.

AVALIAÇÃO da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. 2015. **SCIELO**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/C8FCzSQG37wXxXPNk3Tf4Wt/?lang=pt>. Acesso em: 11 out. 2021.

BRITTO, Rafael. **Sistema Construtivo Wood Frame com uso de CLT (Cross Laminated Timber)**. 2021. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – UERJ, Rio de Janeiro, 2021.

CLT - Crosslam Brasil. CLT CROSS LAMINATED TIMBER.2020. **Crosslam Brasil**. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/clt/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

CONHEÇA o processo de construção rápida Steel Deck. 2017. **Acoplano**. Disponível em: <http://www.acoplano.com.br/blog/conheca-o-processo-de-construcao-rapida-steel-deck/>. Acesso em: 21 set. 2021.

DIAS, Alan. CLT Brasileiro e Exemplos de Prédios de Madeira. Canal do Youtube: Vamos Falar de Madeira? #CrossLamBrasil.2020. **YouTube**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oGkZ2LXiRIQ&t=1219s>. Acesso em: 25 ago. 2021.

DIAS, Alan. **Como a madeira vai se transformar no principal material de construção de edifícios de múltiplos andares**. São Paulo, 2018.

DIAS, Alan. Madeira Engenheirada - O que é?. Canal do Youtube: Vamos Falar de Madeira? #CrossLamBrasil.2020. **YouTube**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7prshRtWeTc&t=414s>. Acesso em: 25 ago. 2021.

DIAS, Alan. Madeira laminada colada cruzada (clt): produção e desenvolvimento. 2018. **Carpinteria**. Disponível em: <https://carpinteria.com.br/2018/04/08/madeira-laminada-cruzada-clt/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

DIAS, Alan. O material do futuro: O uso de madeira tratadas em estruturas. Canal do Youtube: SECiv - Semana da Engenharia Civil. 2020. **YouTube**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wFhkfPaYldg>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DIAS, Alan. Prédios de Madeira CREA-SP ARESPI. Canal do Youtube: Vamos Falar de Madeira? #CrossLamBrasil. 2020. **YouTube**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B0-KwmiZDAA>. Acesso em: 29 ago. 2021.

DIAS, Gledson; ABREU, Wesley. **Lajes Steel Deck**. 2018.69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Unievangélica, Anápolis, 2018.

FERNANDES, Ana Patrícia Alves. **Distribuição Transversal de Cargas em Lajes Mistas Madeira-Betão, Influência do Espaçamento e do Número de Vigas**. 2016.89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.

MIOTTO, José Luiz. **Estrutura mista de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro**.2009. 357 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas)– Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

FOGGIATO, William Saidelles. **Apreensão de Carbono em Construções de Madeira**.2021.43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

GASPAR, Marília. Steel Deck – Confira o Passo a Passo e Dicas de Utilização!. 2020. **Sienge**. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/steel-deck/>. Acesso em: 20 set. 2021.

GROVE, Murray. Murray grove the original timber tower. 2021. **Waugh Thistleton Architects**. Disponível em: <https://waughthistleton.com/murray-grove/>. Acesso em: 02 set. 2021.

MATIAS, Gabriel. **Relatório do Curso de Estruturas de Concreto Armado II**, atividade prática 3. 2021.

MOREIRA, Susanna. Possibilidades construtivas da madeira em 8 edifícios em altura. 2020. **ArchDaily**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/941286/possibilidades-construtivas-da-madeira-em-8-edificios-em-altura>. Acesso em: 18 ago. 2021.

OLIVEIRA, Ana Lúcia Crespo. **Contribuição para a análise de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto (MLC/concreto)**.2002. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: Processo construtivo e desempenho**. 2018.194 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ONDE usar o CLT. 2020. **Crosslam Brasil**. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/onde-usar-o-clt/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

PRODUÇÃO CLT. Produção CLT. 2020.**Crosslam Brasil**. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/producao-clt/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

PROJETO e instalação de conectores de cisalhamento pedem cuidados.2021. **Aecweb**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/projeto-e-instalacao-de-conectores-de-cisalhamento-pedem-cuidados/17261>. Acesso em: 18 set. 2021.

TABELAS DEPRÉ-DIMENSIONAMENTO CLT. Downloads. 2020. **Crosslam Brasil**.Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/downloads/>. Acesso em: 02 out. 2021.

TEMPO Requerido de Resistência ao Fogo: o que é e como dimensionar o TRRF?. 2019. **Thórus Engenharia**. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/trrf-como-dimensionar/>. Acesso em: 14 out. 2021.

WALSH, Niall Patrick. Qual o custo ambiental da produção de cimento e o que podemos fazer sobre isso?. 2019. **ArchDaily Brasil**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/909303/qual-o-custo-ambiental-da-producao-de-cimento-e-o-que-podemos-fazer-sobre-isso>. Acesso em: 16 out. 2021.