



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

GABRIELA FERREIRA MORAIS DE OLIVEIRA ALVES

MANUAL PARA PROJETOS EM CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)

BRASÍLIA

2018



GABRIELA FERREIRA MORAIS DE OLIVEIRA ALVES

MANUAL PARA PROJETOS EM CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Ailton Cabral Moraes

BRASÍLIA

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente o apoio de meu marido, que sempre compreendeu a importância e prioridade dos meus estudos, me apoiou e incentivou sempre que me faltaram forças.

Sou imensamente grata ao meu orientador, Professor Ailton Cabral Moraes, pelas valiosas e orientações. Agradeço particularmente pela disponibilidade e persistência para abrandar minhas dúvidas.

Agradeço a minha família por me proporcionar esta oportunidade de estudo, pelas palavras de conforto e conselhos desde pequena que me tornaram a uma pessoa focada em minhas responsabilidades.

Agradeço à minhas amigas que me sustentaram durante este ano de pesquisa em todos os momentos que me cansei e me queixei. Obrigada por serem este suporte essencial na minha vida.

Agradeço ao UniCEUB pelo financiamento da pesquisa.

Por fim, agradeço aos membros da assessoria acadêmica do UniCEUB, sempre dispostos a sanar dúvidas, apoiar e orientar os pesquisadores.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”*

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

MANUAL PARA PROJETOS EM CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)

Gabriela Ferreira Morais de Oliveira Alves – UniCEUB, PIBITI Institucional, aluno bolsista
gabrielaferreira@sempreceub.com

Ailton Cabral Moraes – UniCEUB, professor orientador
ailton.moraes@ceub.edu.br

A proposta deste trabalho consiste em apresentar um manual para projeto de arquitetura em madeira laminada cruzada, conhecida como CLT. Partiu-se da necessidade de dispersão do conhecimento da madeira como material sustentável e vantajoso na construção civil. Posteriormente, foi-se em busca de manuais nacionais completos e de fácil entendimento para elaboração de projetos em CLT. Por não terem sido encontrados textos que atingissem essas expectativas, constatou-se a necessidade do presente trabalho. Primeiramente foi realizada pesquisa sobre a madeira, mostrando as vantagens ambientais do material e a necessidade de disseminação de seu uso. Logo, buscou-se compreender o CLT como produto, desde suas vantagens, fabricação, usos e estudos de casos. Posteriormente, foram estudados e analisados diversos manuais de CLT, de empresas nacionais e internacionais, elaborando tabelas comparativas que listam a relevância de cada tópico dissertado. Até que por fim, foi criado um novo manual, com as informações julgadas fundamentais para se projetar com CLT. Para a confecção desse manual, foram escolhidos os tópicos mais expressivos de cada um deles, chegando à conclusão que o presente manual, deveria conter os seguintes tópicos: explicações do produto, tabelas de pré-dimensionamento, detalhes construtivos e tabelas comparativas de desempenho térmico segundo as zonas bioclimáticas brasileiras. Os objetivos iniciais da pesquisa foram atingidos com a elaboração do manual proposto de forma sucinta e objetiva. Espera-se que o presente trabalho possa despertar curiosidade e interesse na elaboração de novos manuais para produtos pouco conhecidos e não convencionais, como o CLT.

Palavras-Chave: Estruturas de madeira. Madeira laminada cruzada. Manual de projeto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico comparativo de materiais e o armazenamento de carbono.....	11
Figura 02: Gráfico de superfície florestal global.....	12
Figura 03: Produção de florestas por espécie.....	13
Figura 04: Foto de painel de CLT com 5 camadas.....	16
Figura 05: Esquema gráfico de CLT e cruzamento de lâminas em ângulos retos.....	16
Figura 06: Gráfico da evolução do CLT na Europa Central (1.000m ³)	17
Figura 07: Máquina CNC Hundegger PBA (12x2,95) em fabricação de CLT.....	20
Figura 08: CLT Sem colagem lateral.....	22
Figura 09: CLT Com colagem lateral.....	22
Figura 10: Seção de lamela com ranhuras.....	23
Figura 11: Unidade habitacional do edifício Stadthaus.....	24
Figura 12: Corte esquemático do edifício Stadthaus.....	25
Figura 13: Planta livre do edifício Patch 22.....	26
Figura 14: Estrutura do edifício Patch 22.....	26
Figura 15: Construção do edifício Brock Commons.....	27
Figura 16: Brock Commons, maior arranha-céu em madeira.....	27
Figura 17: Amata – Edifício escalonado em CLT.....	28
Figura 18: Detalhe da KLH traduzido pela autora.....	46
Figura 19: Detalhe da Crosslam Brasil alterado graficamente pela autora.....	46
Figura 20: Detalhe do Canada Handbook traduzido e alterado graficamente pela autora.....	46
Figura 21: Detalhe baseado no Canada produzido pela autora.....	47
Figura 22: Mapa das zonas bioclimáticas.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Consumo energético entre diversos materiais de construção.....	11
Tabela 02: Descrição do manual Canada Handbook.....	31
Tabela 03: Descrição do manual Crosslam Brasil.....	31
Tabela 04: Descrição do manual MM Crosslam.....	32
Tabela 05: Descrição do manual Stora Enso.....	33
Tabela 06: Descrição do manual KLH Cross Laminated Timber.....	35
Tabela 07: Descrição do manual KLH Catálogo de componentes para CLT.....	35
Tabela 08: Descrição do manual KLH Tabelas de pré-dimensionamento estrutural.....	36
Tabela 09: Comparação entre manuais de CLT.....	38
Tabela 10: Tabela de dimensões da KLH traduzida pela autora.....	44
Tabela 11: Tabela de pré-dimensionamento da KLH traduzida pela autora.....	45
Tabela 12: Tabela de aberturas da NBR 15.575 adaptada pela autora.....	47
Tabela 13: Tabela de transmitância e atraso térmico da NBR 15.575 adaptada pela autora.....	47
Tabela 14: Tabela de desempenho térmico.....	48

SUMÁRIO

1. Introdução.....	09
2. Fundamentação teórica.....	10
2.1 Madeira e sustentabilidade.....	10
2.2 A vocação da floresta brasileira.....	12
2.3 Vantagens e desvantagens da madeira.....	13
2.4 O que é o CLT?	16
2.5 Processo de fabricação do CLT.....	21
2.6 Estudos de caso em CLT no exterior.....	24
2.7 Estudos de caso em CLT no Brasil.....	28
2.8 Seleção e análise de manuais.....	29
2.9 Comparativo de manuais.....	36
2. Metodologia.....	40
3. Resultados e discussão.....	44
4. Considerações finais.....	49
Referências.....	50
Apêndices.....	53

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país rico em madeira e com várias florestas subutilizadas. O potencial madeireiro do país é grandioso. No entanto, quantas construções são realizadas em madeira? Um dos fatores que influenciam esta falta, é o desconhecimento do uso dos produtos gerados pela madeira, por exemplo, o CLT.

O CLT, conhecido como madeira laminada colada cruzada, é um produto proveniente da madeira, constituído por várias lâminas dispostas de forma cruzada. Durante a pesquisa, foi encontrada apenas uma empresa brasileira que o produzia, a Crosslam Brasil. Isto, por não haver dispersão do conhecimento deste produto no país.

Em outros países, já mais habituados a construir com madeira, como os Estados Unidos, Canadá e alguns países da Europa, o CLT vem sendo utilizado e atingindo resultados inesperados tanto em questão de tempo, produtividade, qualidade, dentre diversas outras vantagens tanto ambientais, quanto estruturais, acústicas, térmicas, etc.

Por esta razão, vários dos manuais consultados e que baseiam a pesquisa são estrangeiros, dentre eles CLT Handbook USA, CLT Handbook Canada, KLH Cross Laminated Timber, Stora Enso, MM Crosslam, dentre outros. Mas também foram consultados materiais brasileiros como os catálogos da empresa Crosslam Brasil, assim como dissertações que exploraram o material com a mesma intenção de divulgá-lo, como Passarelli, em Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no estado de São Paulo, e Pereira em Metodologia para estudo de caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada, dentre outros.

O tema pode até ser conhecido por alguns, mas pouco explorado, e menos ainda no âmbito de criação de um manual para projetos. Ao constatar essa necessidade, foi inevitável a incitação de conceber este manual.

Portanto, o objetivo que desta pesquisa é gerar um manual, capaz de nortear estudantes e arquitetos a projetar usando CLT. Procurar meios objetivos, como tabelas, desenhos e gráficos que habilitem a concepção de um projeto em madeira laminada colada. Assim como demonstrar suas vantagens e potencializar o uso deste produto no contexto brasileiro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A MADEIRA E A SUSTENTABILIDADE

A madeira é um material com vários benefícios, e por isso, vem sendo utilizada há muitos anos na construção civil. Era muito usado antes da revolução industrial, até que foi substituída pelos novos materiais da época, aço e concreto.

A partir do século XX, o mercado começou a ter uma grande preocupação ambiental. A grande tendência se tornou emitir cada vez menos carbono, ser mais sustentável, e com isso, a madeira voltou a ganhar importância. (VILELA, MARIO; KUSHNER, MARC, 2015)

Porém, a utilização da madeira ainda não está disseminada no Brasil como em outros países da América do Norte e da Europa. Aqui, a madeira ainda é vista como um material fruto do desmatamento e portanto são preferidos materiais como: concreto, cimento e tijolo.

Ao contrário do que muitos pensam, a utilização da madeira tem uma série de vantagens ambientais. Dentre elas:

- Diminuição do desmatamento;
O desmatamento é reduzido porque a madeira é retirada de forma consciente, permitindo a recomposição da floresta.
- Material renovável;
A madeira cresce espontaneamente, sem necessidade de processos de produção. Portanto, ela pode ser plantada e extraída sem comprometer as fontes de recursos naturais do planeta.
- Diminuição do aquecimento global;
A diminuição do desmatamento também reduz o aquecimento global, pois a diminuição das queimadas reduz a emissão de CO₂, o gás com maior responsabilidade de crescimento do efeito estufa e aquecimento global.
- Rápido ciclo de crescimento;
O tempo de crescimento da madeira é mais rápido que os outros materiais utilizados na construção civil, como: calcário, ferro e petróleo, podendo se repor mais facilmente.

- Baixo consumo energético;

A madeira é um material de baixo consumo energético se comparado aos materiais tradicionais do mercado, conforme tabela 01.

Consumo energético entre diversos materiais de construção	
Para 1 tonelada de material	KG EC (obs: 1kg EC=3000kcal)
Alumínio	4200
Plástico	1800
Aço	1000
Tijolo cerâmico	140
Tijolo concreto	25
Madeira	0,8

Tabela 01: Consumo energético entre diversos materiais de construção

Fonte: <http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Industrializacao/Madeira-Serrada/Construcao> Acesso 23/08/2018 às 12:01

- Armazenamento de carbono;

O principal componente da madeira é o carbono, e portanto, quando construímos com madeira, armazenamos carbono e evitamos a liberação dele para a atmosfera, contribuindo para a redução do efeito estufa, como é demonstrado na figura 01.

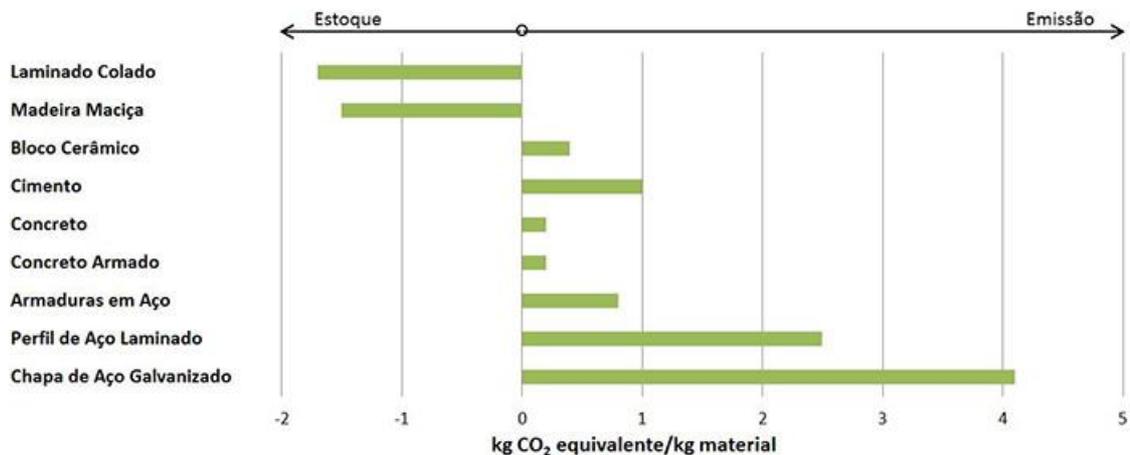


Figura 01: Gráfico comparativo de materiais e o armazenamento de carbono.

Fonte: <http://www.itaconstrutora.com.br/por-um-mundo-sustentavel/>
Acesso: 23/08/2018 às 10:15

- Bom isolamento térmico;

A madeira é um excelente isolante térmico, contribuindo para a redução de energia utilizada para climatização de edifícios.

- Capacidade de reciclagem:

Pode ser reutilizada e reciclada para produção de vários produtos como: materiais para a construção civil, mobiliário, objetos de decoração, fabricação de papel, dentre outros.

2.2. A VOCAÇÃO FLORESTAL BRASILEIRA

O Brasil é um país com cerca de 516 milhões de hectares (60,7% do seu território) de florestas naturais e plantadas, a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia, conforme figura 02.

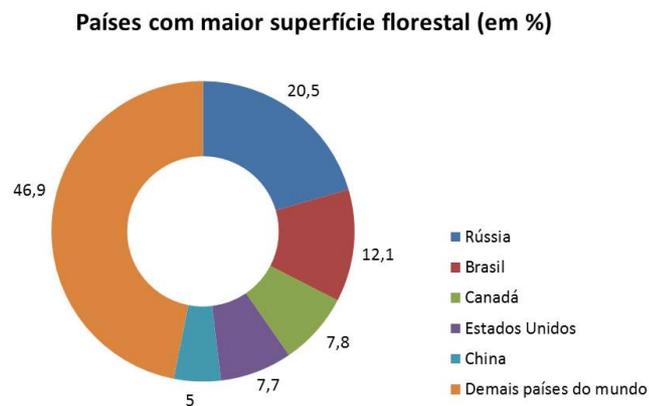


Figura 02: Gráfico de superfície florestal global.

Fonte: (BRASIL, 2010)

As principais espécies arbóreas em florestas plantadas no Brasil, são Eucalyptus e Pinus, representando 93% de um total de cerca de 6,8 milhões de hectares, conforme figura 03. (BRASIL, 2010) Esta grande quantidade de madeiras favoráveis a construção civil assegura a vocação brasileira para construir com o material.

PRODUÇÃO TOTAL – FLORESTAS PLANTADAS (POR ESPÉCIE/REGIÃO)

REGIÃO	ESPÉCIE	PRODUÇÃO 2012 (M ³)
SUL	PINUS	11.696.842,43
	EUCALIPTO	3.674.297,12
	ARAUCÁRIA	110.693,18
	ACÁCIA	69.300,00
SUDESTE	EUCALIPTO	11.162.185,43
	PINUS	665.870,15
	CUPRESSUS LUSITANICA	36.526,38
	ARAUCARIA	12.888,47
	CUNNINGHAMIA LANCEOLATA	6.186,50
	CRYPTOMERIA JAPONICA	196,86
CENTRO-OESTE	EUCALIPTO	4.867.667,10
NORDESTE	EUCALIPTO	2.965.800,00
AMAZÔNIA LEGAL	EUCALIPTO	1.783.347,00
	PINUS	111.267,00
	TECTONA	2.058,34
TOTAL	37.165.125,96	

Figura 03: Produção de florestas por espécie.

Fonte: (ZERBINI, 2012)

2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MADEIRA

A madeira é um material com vantagens e desvantagens frequentemente equivocadas. Em vista disso, apresenta-se abaixo uma lista explicativa com o objetivo de desmistificar o material, motivar seu uso, orientar a seleção de espécies e contextos favoráveis para assim, utilizá-lo da forma mais eficiente. (ZENID, 2009)

Baseado na dissertação de Passarelli, 2013, a madeira tem como vantagens os seguintes aspectos:

- Baixo consumo de energia;
Os processos de cultivo, extração, processamento e transporte da madeira demandam pouco gasto de energia e conseqüentemente, produzem menor quantidade de emissões.

- Bom isolamento acústico;
A madeira é excelente para absorção acústica, possui várias camadas e barreiras para passagem de som. Em madeiras mais densas, essa característica é ainda mais eficaz, devido aos menores espaços para a dispersão do som.
- Bom isolamento térmico;
Espécies de baixa densidade são ótimas para isolamento térmico, pois os vazios da madeira são preenchidos com ar ou água, gerando barreiras para passagem de calor ou frio.
- Bom isolamento elétrico;
A madeira é um material que não permite grande transferência de carga de um objeto para o outro, sendo então um isolante de energia.
- Facilidade de fabricação e manuseio;
- Resistência ao fogo;
A madeira é combustível, mas resiste bem ao fogo. Isto ocorre porque é um material composto de várias camadas, que permitem um envelope de madeira carbonizada e assegura uma proteção do centro, onde é realmente resistente, portanto não comprometendo a estrutura.
- Bom fechamento hermético;
O material impede a passagem de ar e umidade, possibilitando melhores condições climáticas no edifício.
- Garantia de qualidade e sustentabilidade;
Aconselha-se o uso de madeiras certificadas, pois assim é garantido que o consumidor está comprando um produto cuja extração não causou danos ao meio ambiente, a sociedade e as economias locais.
- Produção sustentada pela abundância de florestas no Brasil.
Assim como mencionado acima, o Brasil é abundante em florestas, e se utilizado de forma consciente, possibilita uma grande vocação para o uso da madeira como material de construção civil.

Ainda baseado na monografia de Passarelli, 2013 a madeira tem como desvantagens, os seguintes aspectos:

- Comportamento físico-mecânico heterogêneo e anisotrópico;
Pode ocorrer uma variação de resistência dependendo da orientação das fibras da madeira. Isto pode ser corrigido através de um projeto adequado a espécie da madeira.
- Variação de dimensões devido a alteração de umidade;
- Suscetível ao ataque de agentes agressivos;
O material natural é sujeito a agentes como fungos e cupins, que podem afetar sua durabilidade. Mas isto é facilmente tratável com uso de produtos especializados.
- Material inflamável;
Como dito anteriormente, a madeira é um material combustível, porém com resistência a altas temperaturas e carbonização lenta.
- Dimensões limitadas à origem da árvore;
A madeira é um produto natural e portanto, limitado ao crescimento natural das árvores. Caso necessário, existem produtos industrializados a base de madeira com dimensões maiores.
- Controle de qualidade dificultado;
Devido à grande variedade de espécies, as propriedades também variam bastante. Isto dificulta o controle de qualidade, muitas vezes necessitando de altos coeficientes de segurança.
- Custo;
É um material relativamente caro.
- Pouco conhecimento;
A divulgação acerca do comportamento do material são insuficientes.
- Falta de projetos específicos;
Devido à falta de conhecimento, existem poucos profissionais habilitados a realizar projetos específicos para o material.
- Marcenarias com práticas erradas e ultrapassadas;
- Marcenarias com equipamentos ultrapassados;

- Mentalidade distorcida por parte dos usuários.

Nota-se que a maior parte das desvantagens são solucionáveis pela dispersão do conhecimento, justificando então a elaboração deste manual.

2.4. O QUE É O CLT?

O CLT é um produto concebido nos anos 90 na Suíça, composto por lâminas pré-fabricadas de madeira em ângulos retos e ligadas por adesivo perpendicularmente. Devido a esta composição, deu-se o nome Cross Laminated Timber em inglês, ou Madeira Laminada Colada Cruzada em português. (CREPEL; GAGNON, 2010)

Estes painéis são normalmente formados por três, cinco, sete e até oito camadas de lâminas de madeira, conforme figuras 04 e 05. (PASSARELLI, 2013)



Figura 04: Foto de painel de CLT com 5 camadas.

Fonte: (DOVETAIL, 2016)

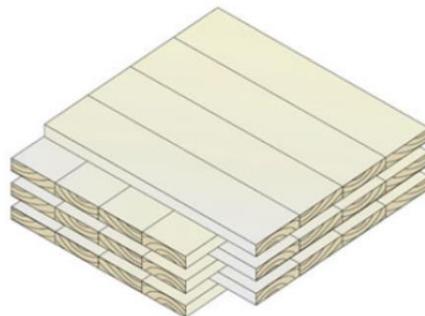


Figura 05: Esquema gráfico de CLT e cruzamento de lâminas em ângulos retos.

Fonte: (DOVETAIL, 2016)

A madeira laminada colada é um produto pré-fabricado que revelou excepcional rapidez, resistência, estabilidade dimensional e rigidez. (SILVA, C.A.; CHIRINÉA, M.B.B.; BARROS, M.M.S.B, 2016) Em virtude desses resultados, ele está em grande expansão

principalmente na Europa, onde foi primeiramente desenvolvido. Seus líderes de produção na Europa são: Áustria, Alemanha, Suíça, Noruega e Reino Unido, conforme apresenta figura 06.

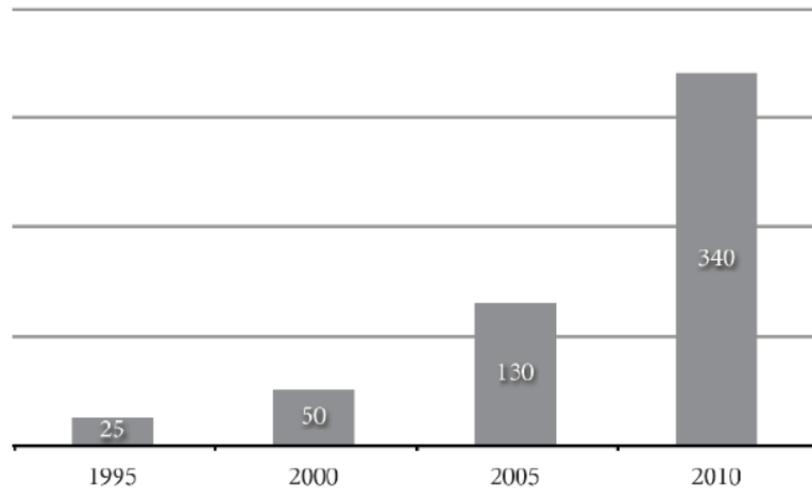


Figura 06: Gráfico da evolução do CLT na Europa Central (1.000m³)

Fonte: (SCHICKHOPER, 2010 apud PASSARELLI, 2013)

Os Estados Unidos e o Canadá, são exemplos de países também em um esforço conjunto para a adoção do CLT, criando iniciativas de apoio a madeira como concursos de projetos em madeira, incentivos fiscais, dentre outros.

Essa expansão do CLT mundo afora, se dá devido ao custo competitivo e sua adequação aos atuais usos do concreto, alvenaria e aço. Além disso, no contexto atual, em que a sustentabilidade ganhou grande importância, um produto constituído de madeira, que possui várias vantagens ambientais é muito bem aceito no mercado. (DOUGLAS. B, KARACABEY. E, 2013)

Dentre estas vantagens estão:

- Vantagens ambientais:

Os benefícios ambientais da madeira laminada cruzada, têm sido amplamente documentados por (Schlamadinger e Marland 1996; Winjum et al., 1998; Salazar e Meil 2009). (MALLO; ESPINOZA, 2014)

- Armazenamento de carbono:

Os produtos de madeira armazenam carbono a uma taxa aproximada de 1,10 toneladas de CO₂ por metro cúbico ao longo de décadas. Oito entrevistados concordaram que este é um dos mais importantes benefícios ambientais, e que isso oferece uma oportunidade única de comercializar o

produto para consumidores conscientes do meio ambiente, uma grande tendência mundial. (MALMSHEIMER, 2008)

- Efeito estufa:
Os entrevistados também enfatizaram as menores emissões de gases de efeito estufa e menor energia necessária para a fabricação de painéis CLT, especialmente em comparação com o processo necessário para produzir produtos equivalentes, como concreto ou aço. Segundo Malmsheiner (2008), a substituição de materiais de construção que exigem o uso de combustíveis fósseis para sua produção, por produtos à base de madeira, ajuda a reduzir consideravelmente as emissões de carbono para a atmosfera.
- Armazenamento de carbono:
Uma pesquisa conduzida nos Estados Unidos, constatou que a vida útil dos edifícios construídos em CLT, têm até mesmo um impacto negativo de armazenamento de carbono. As soluções de concreto e aço demonstraram conter cerca das mesmas quantidades de CO₂ incorporado (1.984 toneladas / m³), enquanto um sistema CLT equivalente teria menos de metade (727 toneladas / m³). Considerando o armazenamento de carbono, o sistema em CLT chega a um valor de aproximadamente -2,314 toneladas / m³ de CO₂ incorporado, dando ao CLT uma vantagem em termos de impacto ambiental em comparação com outros materiais (HAMMOND; JONES, 2011).
- Transferência de calor:
O CLT é um produto composto de madeira maciça, que atua como uma massa térmica, armazenando calor durante o dia e liberando à noite. Esta massa térmica pode reduzir muito as cargas de aquecimento e arrefecimento, reduzindo também o uso geral de energia do edifício e melhorando o conforto geral dos ocupantes. (BURNETT; STRAUBE, 2005)
- Florestas subutilizadas:
Este é um dos maiores benefícios ambientais, tendo em vista o potencial desta grande quantidade de florestas subutilizadas, com abundância de recursos para fabricar os painéis de CLT. (MALLO; ESPINOZA, 2014)

- Vantagens da composição:

Existem também várias vantagens da própria composição do CLT, levando em conta seu material, o cruzamento das lamelas e o processo de fabricação, como:

- Possibilidade de uso de madeiras de menor qualidade:

O CLT pode ser fabricado com madeira de pouca qualidade ou pequeno diâmetro, normalmente madeiras subutilizadas. É empregada madeira de maior qualidade nas camadas que terão maior solicitação estrutural, enquanto a madeira de menor qualidade é locada nas camadas transversais a essas. (DOVETAIL, 2016)

- Pré-fabricação:

A fabricação ocorre em um ambiente controlado, como uma fábrica ou galpão. Isto resulta em:

- Maior rendimento;
- Maior controle de qualidade;
- Ganho com economia de escala;
- Processo produtivo automatizado e mais rápido;
- Melhores condições trabalhistas;
- Redução dos custos individuais pelo aumento de produtividade;
- Painéis com grandes dimensões;
- Conexões entre elementos usinados ainda na fábrica;
- Possibilidade do uso de CNC.

A madeira laminada colada cruzada vem vivenciando um período de expansão e propagação de uso, juntamente com a produção em CNC, conforme figura 07. (JESKA, 2015) Com o uso dessa tecnologia, atualmente é possível projetar edifícios pré-fabricados extremamente precisos e com painéis customizados. Por exemplo, são produzidas paredes com aberturas de janelas, portas e instalações e encaminhados apenas para montagem, precisando apenas de alguns parafusos, possibilitando uma montagem rápida e vantajosa. (CRUZ, 2016)



Figura 07: Máquina CNC Hundegger PBA (12x2,95) em fabricação de CLT

Disponível em <http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CNC-Hundegger-PBA.jpg>
 acesso 04/05/2017 às 23:07

- Vantagens estruturais:
 - Relação força-peso:

Segundo Architectural Record (2011), "... O CLT é tão forte e funciona tão bem quanto o concreto, mas pesa um sexto do concreto."

Quando submetido a esforços de carga, a madeira pode ter uma excelente relação força-peso em relação ao aço e uma relação ainda mais favorável se comparado ao concreto. Um importante benefício de usar um material com baixo peso-resistência como o CLT, é que estruturas mais leves com capacidades estruturais similares podem ser alcançadas. Além disso, uma estrutura mais leve se traduz em fundações menores que, por sua vez, se traduz em menores custos de construção.
 - Disposição de camadas perpendiculares entre si:

O CLT é composto por várias camadas cruzadas e perpendiculares. Por essa composição em camadas, o desempenho estrutural dos painéis de CLT não depende do desempenho mecânico de cada componente individual, mas do sistema geral. O cruzamento de camadas também é uma vantagem por proporcionar estabilidade dimensional e resistência a esforços laterais. Devido a esta grande estabilidade dimensional, os elementos formados por CLT, como paredes, pisos e coberturas têm função estrutural. (MALLO; ESPINOZA, 2014)
 - Grandes alturas.

Quanto às desvantagens do CLT, têm-se:

- Demanda investimento em infraestrutura e produção:
Por ser um produto pré-fabricado, existe um investimento inicial
- Camada transversal não atua diretamente nas transferências de cargas verticais
No caso de superdimensionamento da seção transversal, pode resultar em pouca eficiência. Pode ser corrigido com um projeto adequado.
- Geração de resíduo:
Pode ser gerado resíduo, devido a divisão de painéis em peças menores e recortes de vãos.
- Recortes de vãos realizados em painéis acabados.
- Pode ser necessário alta exigência de controle:
- Pode ser necessário alto controle da matéria prima e condições de umidade produtiva (se houver colagem lateral).

2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CLT

Segundo Passarelli (2013), a produção do CLT é dividida em diversas etapas, enumeradas a seguir:

- 1) Abastecimento e classificação da madeira:
A madeira serrada conífera é selecionada com baixa umidade (entre 8 e 14%) visando diminuição do risco da proliferação de fungos e insetos;
- 2) Análise das lamelas:
São analisadas por scanner e separadas qualitativamente de acordo com resistência mecânica, existência de nós, trincas, direção das fibras, etc;
- 3) Execução de emendas longitudinais (finger-joint):
As lamelas passam por esteiras e máquinas, executam o finger-joint nas duas extremidades das peças.
- 4) Colateral lateral (opcional):
Alguns fabricantes realizam a colagem lateral entre as lamelas de uma mesma camada, demonstrada nas figuras 08 e 09. Ela é vantajosa pela possibilidade de um painel totalmente hermético. Porém, a desvantagem desse método,

consiste nas camadas externas ficarem impedidas de movimentação lateral e consequentemente podem gerar possíveis fissuras de retração das lamelas pela variação da umidade relativa do ar. Esta opção não possui implicações no desempenho estrutural dos painéis.

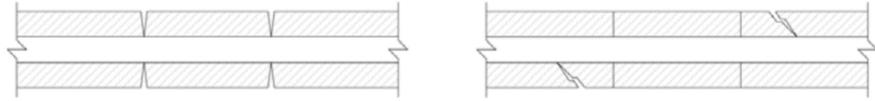


Figura 08: CLT Sem colagem lateral Figura 09: CLT Com colagem lateral

Fonte: (PASSARELLI, 2013)

Nota: Caso opte pela utilização da colagem lateral, recomenda-se o uso de valores baixos (cerca de 8%, visto que os ambientes tendem a ter a umidade relativa maior ou igual a 8%) de umidade das lamelas, para que o painel não retraia, e não cause fissuras.

As lamelas são portanto agrupadas, colocadas em esteiras e posteriormente borrifado adesivo poliuretano nas faces laterais. Com o uso de uma grua a vácuo, a camada é transportada para uma prensa e posteriormente repetido na terceira camada.

5) Prensagem lateral (opcional):

É decorrente da opção de realizar uma colagem lateral. Após a sobreposição de duas camadas, estas são prensadas e repete-se o procedimento para cada camada.

6) Disposição de camadas:

Através de um guindaste com sucção a vácuo, um conjunto de lamelas é içado e depositado sobre a mesa de laminação. São utilizadas nesta etapa, madeira de maior qualidade devido a maior solicitação estrutural.

É recomendado a fixação de uma membrana hidrófuga, (barreira contra vento, poeira e vapor de água) durante a produção do painel entre a primeira e a segunda lamela, a partir do lado externo do painel.

É opcional a execução de ranhuras, conforme figura 10, de 2mm de profundidade por 20mm de largura nas camadas maiores. Estas possuem função de reduzir as pontes térmicas, aumentando a capacidade de isolamento

térmico do painel. Porém devido a diminuição da área de contato entre as camadas, a colagem pode ser menos efetiva.



Figura 10: Seção de lamela com ranhuras

Fonte: (PASSARELLI, 2013)

- 7) Aplicação de adesivo poliuretano:
É espalhado visando a colagem e cura.
- 8) Disposição de camadas:
Içamento da camada perpendicular e assim sucessivamente. É utilizada nesta etapa, madeira de menor qualidade nas camadas transversais. O tempo entre esta etapa e a próxima (prensagem) não deve exceder 25 minutos, pois o adesivo iniciaria o processo de cura devido a umidade do ar.
- 9) Prensagem:
Após a sobreposição de duas camadas, estas são prensadas a frio ou a quente. Repete-se o procedimento para cada camada.
- 10) Secagem:
Após a prensagem, os painéis seguem para prateleiras de secagem, onde permanecem até a cura total do adesivo.
- 11) Acabamento de superfície:
O painel seco é transportado para um local de verificação e conserto de possíveis problemas na superfície, através do uso de uma massa plástica e lixa. O painel é girado e o procedimento é repetido na outra face.
- 12) Usinagem:
Painéis são cortados nas dimensões padrões por meio de CNC, uma serra automatizada controlada por computador.
- 13) Montagem dos painéis:
As camadas são fixadas umas às outras, por meio de cavilhas de madeira e adesivo poliuretano.
- 14) Identificação e carregamento do caminhão.

Os painéis são identificados e colocados no caminhão para encaminhamento ao canteiro de obras.

Nota: Todos esses procedimentos são gerais, podendo existir mais de uma opção a escolha da empresa e portanto, produzindo materiais finais diferentes.

2.6. ESTUDOS DE CASO NO EXTERIOR

O CLT é um produto relativamente novo com o potencial de redefinir a forma como pensamos sobre a construção de edifícios em madeira.

No exterior, existem edifícios notáveis sendo projetados e construídos em CLT. Dentre eles estão os seguintes:

- Edifício Stadthaus:
Londres, Reino Unido, 2009

O edifício Stadthaus está localizado em Londres, no Reino Unido, e foi concluído em 2009. O projeto foi realizado pelos arquitetos Waugh Thistleton Architects, para os clientes Metropolitan Housing Trust / Telford Homes e teve um orçamento de £ 3,5 milhões.

Construído inteiramente em madeira, o prédio se estende por 9 andares. E já foi considerado o prédio residencial de madeira mais alto do mundo. É composto por 29 unidades habitacionais privadas, conforme figura 11, a preços bem acessíveis.

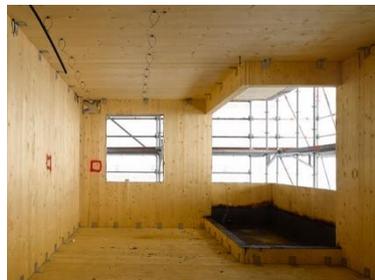


Figura 11: Unidade habitacional do edifício Stadthaus

Fonte: <http://1.bp.blogspot.com/-DCsBjK-NnFU/ToD9h2raVAI/AAAAAAAAAw/8pqA99GQNSY/s1600/7+%25281%2529.jpg>
g Acesso: 13/08/2017 às 16:29

O edifício foi montado usando o sistema de madeira laminada colada cruzada pelos fabricantes pioneiros, a empresa austríaca KLH, chegando em painéis 70% constituídos por madeira residual.

Este foi o primeiro edifício no mundo desta altura, a construir paredes, pisos e até mesmo escadas estruturais inteiramente de madeira, conforme figura 12.



Figura 12: Corte esquemático do edifício Stadthaus

Fonte: <http://images.adsttc.com/media/images/5127/8747/b3fc/4b11/a700/1e9d/newsletter/stadhaus-wt01.jpg?1414354209> Acesso: 13/08/2017 às 16:29

A construção foi extremamente rápida, pois cada um dos painéis foi pré-fabricado e à medida que chegavam ao local, eram colocados em posição, reduzindo drasticamente o tempo de produção no local. Toda a estrutura de nove andares foi fabricada e construída no prazo de nove semanas.

O edifício Stadthaus armazena mais de 186 toneladas de carbono. E ainda, por não usar armação de concreto armado, outras 124 toneladas de carbono foram salvas de entrar na atmosfera. Isso equivale a 21 anos de emissões de carbono de um edifício desse tamanho.

- Patch 22

Amsterdã, Holanda, 2009

O edifício Patch 22 é uma obra de 3m de altura em madeira, localizado em Amsterdã, na Holanda. Através desse projeto, o arquiteto Tom Frantzen criou um edifício de grande porte, flexível e um alto nível de sustentabilidade.

O projeto em madeira foi desenvolvido durante a crise dos anos de 2009 a 2014 procurando soluções financeiras e sustentabilidade. O projeto também incorpora inúmeras inovações tecnológicas para alcançar a flexibilidade desejada.

A partir destas premissas, o arquiteto criou apartamentos abertos, de planta livre, conforme figura 13, e com o pé direito chegando a 4 metros.



Figura 13: Planta livre do edifício Patch 22

Fonte: <http://baumad.com/wp-content/uploads/2017/06/planta.jpg> Acesso
02/10/2017 às 10:10

O prédio se ergue sobre grandes Vs de concreto e possui uma estrutura mista, como mostra figura 14, de aço e vigas de madeira laminada de 45x80cm e pilares também feitos de madeira com seção de 45x55cm. Essa estrutura foi superdimensionada para possibilitar a resistência ao fogo por até 120 minutos.



Figura 14: Estrutura do edifício Patch 22

Fonte: <http://baumad.com/2017/06/13/viviendas-patch-22-amsterdam/> Acesso
02/10/2017 às 09:59

- Brock Commons Tallwood House
Vancouver, Canadá, 2017.

O edifício Brock Commons, como mostram as figuras 15 e 16, é o edifício mais alto em madeira compensada no mundo. Ele foi iniciado em novembro de 2015 e concluído em 2017, em Vancouver, Canadá e projetado pelo escritório canadense Acton Ostry Architects. Devido a escolha do CLT no projeto, foi possível reduzir os prazos da obra com uma montagem estrutural muito rápida.



Figura 15: Construção do edifício Brock Commons

Figura 16: Brock Commons, maior arranha-céu em madeira

Fonte: <http://www.archdaily.com.br/br/879671/major-arranha-ceu-de-madeira-do-mundo-e-concluido-em-vancouver/59b98c82b22e382c0000011f-inside-vancouver-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building-image>

Acesso 21/08/2018 às 17:28

Devido a utilização do CLT, pelo menos dois andares do edifício foram construídos por semana, atingindo hoje, 53 metros de altura distribuídos em 18 andares em um total de oito semanas, com pouco tráfego, ruído e poluição.

Os painéis de CLT foram fabricados e preparados pela empresa Structurlam, fora do local da obra, permitindo instalação imediata no canteiro e um processo de precisão industrial, através de máquinas de CNC. Esta precisão permitiu quase nenhum desperdício de material.

Além disso, o uso da madeira trouxe vários benefícios ambientais, como o armazenamento de carbono, o uso de material renovável e ainda de forma economicamente viável.

Os arquitetos responsáveis declaram que “cada vez mais arquitetos tem optado pela construção em madeira em vez de concreto e aço, também por causa da crescente conscientização à respeito das questões climáticas.”

2.7. ESTUDO DE CASO NO BRASIL

Devido as condições climáticas do mundo, a humanidade se encontra em um período de grande valorização ambiental. Influenciado por esses valores, o Brasil está começando a se inspirar em projetos sustentáveis ao redor do mundo, e iniciando os próprios projetos de madeira em altura. Um exemplo disso é o edifício Amata, em São Paulo.

- Edifício Amata
São Paulo, Brasil, em andamento.

O edifício projetado pelo escritório franco-brasileiro Triptyque, mostrado na figura 17, será localizado em um terreno de 1025m² em São Paulo, no bairro Via Madalena. Será construído inteiramente com madeira certificada e constituído por 13 pavimentos escalonados, totalizando uma área de 4700m² com espaços de coworking, coliving e restaurante.



Figura 17: Amata – Edifício escalonado em CLT.

Fonte: [https://images.adsttc.com/media/images/59c1/31e2/b22e/3890/3e00/00c9/slideshow/VIEW_2_F_\(Custom\).jpg?1505833436](https://images.adsttc.com/media/images/59c1/31e2/b22e/3890/3e00/00c9/slideshow/VIEW_2_F_(Custom).jpg?1505833436) Acesso: 01/11/2017 às 09:31

O CLT foi o material escolhido para uso em toda a estrutura, devido a sua capacidade de suportar grandes esforços, rapidez, durabilidade e sustentabilidade.

De acordo com os arquitetos, "o edifício é a aplicação da naturalização da arquitetura e propicia uma experiência sensorial total, metáfora de uma floresta urbana habitável, a madeira visível e invisível, o uso da vegetação e da paisagem."

2.8. SELEÇÃO E ANÁLISE DE MANUAIS

Com a finalidade de adquirir informações de como o CLT está sendo abordado no mundo, foi realizado um levantamento de manuais de CLT provenientes de vários países. Foram encontrados manuais europeus, americanos, canadenses e apenas um brasileiro. Foram levantados os seguintes manuais:

- CLT USA Handbook;
- CLT Canada Handbook;
- Smartlam;
- Crosslam Brasil;
- MM Crosslam;
- Stora Enso;
- KLH Cross Laminated Timber.

Após leitura e análise dos manuais mencionados acima, cinco deles foram selecionados. Sendo estes:

- 1) CLT Canada Handbook;
- 2) Crosslam Brasil;
- 3) MM Crosslam;
- 4) Stora Enso;
- 5) KLH Cross Laminated Timber.

1) CLT Canada Handbook

Este manual foi escolhido por ser o manual mais extenso. Compete em especificação de conteúdo apenas com o manual americano, porém por similaridades de unidades de medida, o documento canadense foi mais vantajoso para um estudo de pré-dimensionamento do produto no Brasil.

No entanto, é importante salientar, que diferentemente dos outros manuais, este não é elaborado por um fabricante a fim de vender o produto, mas sim uma tentativa de regulamentar o produto no Canadá. Por isso, o manual se estende em parâmetros irrelevantes para as fabricantes, assim como para o manual proposto neste trabalho.

Nome do manual: Canada Handbook	
Empresa: FPInnovations	Ano de publicação:2011
Nº de páginas: 626	Nº de capítulos:12
País: Canadá	
Conteúdo:	
Capítulo 1: Introdução ao CLT Obs: Adiciona estudos de caso	
Capítulo 2: Manufatura Obs: Contém tabelas e gráficos	
Capítulo 3: Design estrutural de elementos Obs: Tem cálculos aprofundados, irrelevante ao manual proposto de cunho simples	
Capítulo 4: Performance sísmica em edifícios Obs: Irrelevante ao contexto brasileiro	
Capítulo 5: Conexões do CLT em edifícios Obs: Possui cortes e esquemas 3D.	
Capítulo 6: Duração de cargas e fatores de deformações Obs: Aplicados a normas canadenses e europeias e fora do contexto simples do trabalho.	
Capítulo 7: Performance de vibração em pisos de madeira Obs: Contém cortes esquemáticos, gráficos e tabelas, porém também cálculos aprofundados.	
Capítulo 8: Performance do fogo Obs: Demonstrados testes realizados em edifícios em CLT e as normas dos bombeiros seguidas.	
Capítulo 9: Performance acústica Obs: Demonstrados testes com variadas camadas de CLT em esquemas 3D e seus respectivos impactos em decibéis.	
Capítulo 10: Design do envelope do edifício Obs: Aborda estratégias de isolamento térmico, umidade e durabilidade do material, com uso de esquemas 3D.	

Capítulo 11: Performance ambiental Obs: Compara o CLT com outros materiais em forma de tabelas e gráficos, comprovando superioridade em vários parâmetros.
Capítulo 12: Levantamento e manuseio de elementos Obs: Exemplifica através de fotos e esquemas 3D, os detalhes de ganchos, parafusos, cabos e até mesmo os ângulos necessários para manuseio.
Consideração geral: Este manual é o mais completo, porém possui informações muito complexas que não condizem com o trabalho proposto. Outro problema é o contexto de um país diferente em questão climática, sísmica, espécies arbóreas, normas aplicadas, dentre outros fatores.

Tabela 02: Descrição do manual Canada Handbook.

Fonte: Produzida pela autora.

2) Crosslam Brasil

A empresa que criou este manual se chama Crosslam, tem sede em São Paulo, Brasil e atualmente, é a única empresa brasileira que produz e possui manuais relacionados ao CLT.

O mesmo foi selecionado por ser o único modelo brasileiro encontrado, já adaptado então para as condições climáticas, unidades de medida e espécies arbóreas encontradas no Brasil.

Nome do manual: Crosslam	
Empresa: Crosslam	Ano de publicação:2016
Nº de páginas: 125	Nº de capítulos:4
País: Brasil	
Conteúdo: Obs: Este manual não é um livro com capítulos organizados, e sim catálogos separadas para download.	
Capítulo 1: Apresentação CLT Obs: Explica o produto, desmascara mitos, apresenta estudos de caso e fala sucintamente sobre a fabricação.	
Capítulo 2: Informações técnicas básicas Obs: Demonstra vantagens, características do material da empresa e apresenta mais estudos de caso.	
Capítulo 3: Montagem e conexões Obs: Apresenta conexões em esquemas 3D.	
Capítulo 4: Pré-dimensionamento Obs: Apresenta tabelas de pré-dimensionamento das paredes e lajes conforme resistência ao fogo, a carga e o vão.	
Consideração geral: Este manual é muito enxuto e considera apenas o material da empresa, não traz o contexto completo brasileiro.	

Tabela 03: Descrição do manual Crosslam Brasil

Fonte: Produzida pela autora.

3) MM Crosslam

A Mayr-Melnhof Holz é uma empresa austríaca certificada e com foco em projetos sustentáveis, especializada em madeira.

Este manual foi escolhido por ser didático e completo. Contém informações tanto para quem não tem conhecimento sobre o CLT ou sequer madeira, quanto para quem já tem o interesse prévio no assunto.

Nome do manual: MM Crosslam	
Empresa: Mayr Melnhof Holz	Ano de publicação:2016
Nº de páginas: 16	Nº de capítulos:9
País: Áustria	
Conteúdo:	
Capítulo 1: Mayr Melnhof Holz Obs: Apresenta todos os produtos da empresa, dentre eles o CLT.	
Capítulo 2: Propriedades Obs: Apontadas em tópicos	
Capítulo 3: Campo de aplicação Obs: Exemplifica através de fotos e texto os tipos de projetos realizados.	
Capítulo 4: Dados técnicos Obs: Expõe todas as informações a serem consideradas na escolha do produto.	
Capítulo 5: Variedade do produto Obs: Tabela de pré-dimensionamento sem diferenciação de resistência ao fogo, alternando apenas as quantidades de camadas e medidas adequadas.	
Capítulo 6: Qualidades da superfície Obs: Argumenta através de fotos estética do material.	
Capítulo 7: Características da qualidade Obs: Demonstra através de uma tabela os pontos considerados admissíveis e não admissíveis para o controle de qualidade.	
Capítulo 8: Carga e transporte Obs: Descreve e recomenda propostas de estoque e transporte do produto. Faz uso de gráficos e fotos.	
Capítulo 9: Notas	
Consideração geral: Este é um manual enxuto, mas atende as informações necessárias para explicar o CLT tanto para quem não tem conhecimento prévio, quanto para quem já tem interesse no assunto. Por ser um manual de uma fabricante, se estende ao convencimento do uso do produto, o que também não é o propósito do manual.	

Tabela 04: Descrição do manual MM Crosslam

Fonte: Produzida pela autora.

4) Stora Enso

A empresa Stora Enso é da Áustria, local de surgimento do CLT e portanto com maior conhecimento do produto. É também especializada em produtos sustentáveis.

Este manual foi escolhido por ter se revelado um dos mais didáticos, como proposto o manual.

Nome do manual: Stora Enso CLT Technical brochure	
Empresa: Stora Enso Wood Products	Ano de publicação: 2017
Nº de páginas: 32	Nº de capítulos:5
País: Finlândia	
Conteúdo:	
Capítulo 1: CLT – Cross Laminated Timber Obs: Através de tabelas, explica dimensões máximas, espécies adequadas para a produção do CLT na Áustria, usos mais adequados, características de qualidade admissíveis e não admissíveis, dentre outras informações.	
Capítulo 2: Estrutura Obs: Expõe esquemas gráficos da constituição de elementos como: paredes, forro, piso e seus revestimentos.	
Capítulo 3: Física da edificação Obs: Apresenta algumas propriedades como isolamento térmico, umidade, isolamento sonoro, resistência ao fogo, sugerindo dimensões para o melhor funcionamento do material.	
Capítulo 4: Análise estrutural Obs: São feitas análises estruturais, demonstrados cálculos de dimensionamento e propostas tabelas de pré-dimensionamento. As tabelas possuem diferenciação de resistência ao fogo, vãos e cargas como parâmetros.	
Capítulo 5: Gerenciamento de projeto Obs: Apresenta aspectos gerais da produção do CLT, controle de qualidade, custos e transporte.	
Consideração geral: Este manual se revelou um dos mais didáticos em termos gráficos e de simplificada leitura. Podendo ser usado como grande referência adaptando aos parâmetros brasileiros.	

Tabela 05: Descrição do manual Stora Enso

Fonte: Produzida pela autora.

5) KLH

A empresa KLH foi a pioneira na fabricação de CLT, desenvolvendo o produto em conjunto com a Universidade Técnica de Graz em 1996. Após anos de pesquisa a fábrica foi aberta em 1999 e gradualmente expandida. Com origem na Áustria, opera não somente na Europa, mas também internacionalmente.

Por ser pioneira e criadora do produto, a empresa possui a maior quantidade de informações do material e por isso foi escolhida para comparação.

Esta empresa fornece um manual com diversos cadernos separadamente. Foram selecionados três, que tratavam especificamente do CLT.

Nome do manual: KLH Cross Laminated Timber	
Empresa: KLH Massivholz GmbH	Ano de publicação: 2018
Nº de páginas: 20	Nº de capítulos:11
País: Áustria	
Conteúdo:	
Capítulo 1: Informações gerais Obs: Introduz o CLT, suas dimensões padrões mínimas e máximas, e processo de fabricação.	
Capítulo 2: Adesivos e processo de laminação Obs: Através de imagens e textos são indicados os adesivos utilizados aprovados por norma, quantidade de adesivo e descrita a laminação.	
Capítulo 3: Pré-fabricação de elementos Obs: Comenta o uso de CNC nos elementos pré-fabricados, sua precisão e cita os cortes padrões.	
Capítulo 4: Aprovações técnicas e certificados Obs: Apresenta os selos de aprovação e qualidade do produto.	
Capítulo 5: Detalhes técnicos Obs: Apresenta em forma de tabelas todos os detalhes necessários para confecção do CLT, como indicação de espécies, adesivos, umidade, capacidade térmica, resistência ao fogo, dentre outros.	
Capítulo 6: Tipos padrões de painéis, dimensões e desenvolvimento de painéis Obs: Expõe em tabelas as espessuras das camadas de cada tipo de painel.	
Capítulo 7: Qualidade da superfície Obs: São estabelecidos critérios mínimos para cada tipo de superfície. Os parâmetros variam entre bordas, tratamentos, acabamentos, dentre outros.	
Capítulo 8: Requisitos da aparência da superfície Obs: Novamente são estabelecidos critérios, mas desta vez quanto a aparência da madeira. Se pode ou não existir nós, quais espécies são mais indicadas, cor, textura, dentre outros.	
Capítulo 9: Áreas de aplicação Obs: Expõe exemplos construídos e os usos mais comuns, como: edifícios residenciais, escolas, moradias estudantis, hotéis, edifícios públicos, dentre outros.	

<p>Capítulo 10: Vantagens do produto Obs: Apresenta as vantagens de construir com a empresa, incluindo vantagens ambientais, uso de cnc, pré-fabricação, etc.</p>
<p>Capítulo 11: Outros cadernos complementares Obs: A empresa subdivide seus manuais em vários cadernos. Alguns tratam da madeira, sustentabilidade, outros tratam do CLT, seus detalhes e tabelas de pré-dimensionamento.</p>
<p>Consideração geral: O manual da KLH apresentou o produto, indicando vários parâmetros importantes de forma didática, normalmente em tabelas e fotos. Considerando todos os cadernos, se revelou um material completo, e ainda, de fácil leitura e entendimento.</p>

Tabela 06: Descrição do manual KLH Cross Laminated Timber

Fonte: Produzida pela autora.

Nome do manual: KLH Catálogo de componentes para CLT	
Empresa: KLH Massivholz GmbH	Ano de publicação: 2012
Nº de páginas: 28	Nº de capítulos:11
País: Áustria	
Conteúdo:	
Capítulo 1: Conexão parede-concreto	
Capítulo 2: Conexão parede-parede e teto-parede	
Capítulo 3: Conexão parede-parede e cobertura-parede	
Capítulo 4: Conexão cobertura-cobertura	
Capítulo 5: Junta de teto na parede	
Capítulo 6: Juntas transversais de teto, flexíveis e resistentes	
Capítulo 7: Conexão teto-cobertura em viga suspensa	
Capítulo 8: Conexão teto-cobertura em viga de aço	
Capítulo 9: Junta longitudinal do painel e conexões de força transversal	
Capítulo 10: Suporte de paredes em cisalhamento e suspensão de tetos	
Capítulo 11: Tensão do ar: camada de vedação através da barreira de convecção	
Capítulo 12: Design construtivo de fluxo	
Capítulo 13: Instalações elétricas	
Capítulo 14: Aberturas e espaços de instalações	

Tabela 07: Descrição do manual KLH Catálogo de componentes para CLT

Fonte: Produzida pela autora.

Nome do manual: KLH Tabelas de pré-dimensionamento estrutural	
Empresa: KLH Massivholz GmbH	Ano de publicação: 2017
Nº de páginas: 32	Nº de capítulos:7
País: Áustria	
Conteúdo:	
Capítulo 1: Painéis padrões e estruturas de painéis	
Capítulo 2: KLH como uma parede visível	
Capítulo 3: KLH como uma parede revestida	
Capítulo 4: KLH como um teto em vigas de vão simples	
Capítulo 5: KLH como um teto em vigas de vão duplo	

Capítulo 6: KLH como uma cobertura em vigas de vão simples
Capítulo 7: KLH como uma cobertura em vigas de vão duplo

Tabela 08: Descrição do manual KLH Tabelas de pré-dimensionamento estrutural

Fonte: Produzida pela autora.

2.9. COMPARATIVO DE MANUAIS

A tabela a seguir foi criada para sintetizar as principais informações dos cinco manuais analisados e facilitar a comparação entre as alternativas.

Tabela comparativa entre manuais					
	Canada Handbook	Crosslam Brasil	MM Crosslam	Stora Enso	KLH
1.Introdução ao CLT	X	X	X	-	X
2.Introdução a sustentabilidade	X	X	X	X	X
3.Comparação com outros materiais	X	X	-	-	X
4.Campos de aplicação	X	X	X	-	X
5.Indicações de espécies	-	X	X	X	X
6.Indicação de adesivos	X	X	X	X	X
7.Processo de fabricação	X	X	-	X	X
8.Propriedades					
8.1. Resistência ao Fogo	X	X	X	X	X
8.2. Resistência Mecânica	X	X	X	X	X
8.3. Umidade	X	X	X	X	X
8.4. Desempenho Acústico	X	X	X	X	-
8.5. Desempenho Térmico	X	X	X	X	X
8.6. Desempenho Sísmico	X	X	-	-	-
8.7. Desempenho de vibrações	X	-	-	-	X
9.Estudos de casos construídos	X	X	X	X	X
10.Cálculos estruturais					
10.1. Caracterização das propriedades mecânicas	X	X	-	X	X

10.2. Identificação de métodos e normas empregados	X	-	-	X	X
10.3. Detalhamento do cálculo	X*1	-	-	-	X
11. Tabelas de pré-dimensionamento					
11.1. Flexão					
11.1.1. Cobertura Vão Simples	-	X	X*2	X	X
11.1.2. Cobertura Vão Duplo	-	X	-	-	X
11.1.3. Piso Vão Simples	-	X	X*3	-	X
11.1.4. Piso Vão Duplo	-	X	-	-	X
11.2. Compressão					
11.2.1. Parede Externa	-	X	-	X	X
11.2.2. Parede Interna	-	X	-	X	X
11.2.3. Parede Revestida	-	-	-	-	X
11.3. Resistência ao fogo					
11.3.1. Resistência ao fogo	-	X	-	X	X
11.3.2. Resistência ao fogo dupla	-	-	-	-	X
11.4. Dimensões dos painéis	X	X	X	X	X
11.5. Cargas	-	X	-	-	X
12. Detalhes construtivos					
12.1. Parede-parede perpendiculares	X	X	-	X	X
12.2. Parede-parede alinhadas	-	X	-	-	-
12.3. Parede-parede inclinadas	-	X	-	-	X
12.4. Parede-laje em balanço	X	-	-	-	X
12.5. Parede-laje	X	X	-	X	X
12.6. Parede-viga metálica	-	X	-	-	X
12.7. Parede-cobertura	X	X	-	-	X
12.8. Piso-Piso	X	-	-	X	X
12.9. Cobertura-cobertura	-	X	-	-	X
12.10. Cobertura/laje-viga invertida	-	-	-	-	X
12.11. Parafusos	X	X	-	-	X
12.12. Parede-fundação	X	X	-	-	X

12.13.Parede-janela	X	-	-	X	X
12.14. Laje-aberturas		-	-	-	X
12.15.Composição dos painéis	X	-	-	X	X
12.16. Vedação do ar	-	-	-	-	X
12.17.Instalações elétricas	-	-	-	-	X
13.Controle de qualidade	X	-	X	X	X
14.Custo	-	-	-	X	-
15.Carga e transporte	X	X	X	X	-
16.Comenta uso de CNC	X	X	-	-	X

Obs*1: Informa sobre compressão, flexão e cisalhamento

Obs*2: Não apresenta diferenciação das lajes, entre piso e cobertura.

Obs*3: Não apresenta diferenciação das lajes, entre piso e cobertura.

Tabela 09: Comparação entre manuais de CLT

Fonte: Produzida pela autora.

A tabela acima sintetiza as informações gerais dentre os cinco manuais selecionados.

A partir desta análise, foi possível perceber que o primeiro manual, Canada Handbook, introduz bem a madeira, o CLT, seu processo de fabricação e possui uma quantidade satisfatória de detalhes construtivos. Mas por ser um material que trata da normatização do produto, diferentemente dos outros, disserta de forma muito detalhada, especialmente quanto as propriedades e os cálculos estruturais. Isto se revela uma desvantagem, visto que por tratar essas informações de forma aprofundada, não apresenta tabelas simples de dimensionamento e se revela de difícil compreensão. Por fim, esse material possui detalhes construtivos que podiam ser utilizados no manual final, mas não foi qualificado como adequado para basear a estrutura do manual.

O segundo manual analisado, Crosslam Brasil, também introduz a madeira, o CLT e a fabricação, porém de forma mais sintética, o que é favorável a um manual simplificado como o proposto. Expõe bons detalhes construtivos, no entanto, peca nas tabelas de pré-dimensionamento, que também apresentam um caráter dificultoso. Também não atende o propósito do manual, por ser um catálogo de

empresa que passa grande parte do material no convencimento da compra do produto, sem se atentar aos aspectos de projeto e parâmetros a serem detalhados, como aspectos bioclimáticos e acústicos. Deve então ser usado como base de detalhes construtivos, porém as tabelas de pré-dimensionamento não são compatíveis com a proposta do manual, assim como devem ser acrescentadas informações do contexto bioclimático brasileiro. Este manual é aparentemente baseado no manual da precursora KLH, que será explicitado a frente.

O terceiro manual é o MM Crosslam, que também introduz bem, não comenta o processo de fabricação, mas não é prejudicial para proposta do manual. Possui boas tabelas de pré-dimensionamento, sintéticas e de fácil leitura, falta apenas informações de resistência ao fogo. Uma grande falha deste manual é a inexistência de detalhes construtivos que contribuem para o entendimento da montagem dos painéis, informação importante para um projeto de arquitetura. Logo, este manual deve ser utilizado como referência textual e de tabelas de pré-dimensionamento, desde que adicionados parâmetros de resistência ao fogo. Já os detalhes construtivos, devem ser baseados em outros manuais.

O quarto manual analisado, Stora Enso, falha um pouco na introdução ao assumir que o leitor já entende sobre CLT, mas descreve bem suas propriedades. As tabelas de pré-dimensionamento são sintéticas, porém com todas as informações necessárias. Assim como o manual anterior, falha na seleção de detalhes construtivos. Possui pequena quantidade de detalhes, deixando de cobrir até mesmo as informações gerais. Portanto, deve ser utilizado como referência de tabelas de pré-dimensionamento e objetividade mas não de detalhes construtivos.

O quinto e último manual, KLH é o precursor, e portanto explica bem a madeira, o CLT, suas propriedades e fabricação. As tabelas de pré-dimensionamento são completas e de fácil entendimento. A quantidade e qualidade de detalhes construtivos são ótimas sendo grande referência nesse critério. Este manual falta apenas informações sobre o contexto climático brasileiro, o que não é um problema para a empresa, mas deve ser acrescentado no manual proposto.

3. METODOLOGIA

O objeto estudado foi o CLT, madeira laminada colada cruzada, objetivando a criação de um manual para projetos arquitetônicos em CLT para o contexto brasileiro.

A fim de alcançar os objetivos traçados nesta pesquisa, optou-se por selecionar uma série de materiais de leitura que fundamentassem o uso da madeira, suas vantagens ambientais, a tendência mundial de seguir a sustentabilidade e ainda, sua aplicação no contexto brasileiro.

Posteriormente, buscou-se documentos que explicassem o CLT, sua composição, suas vantagens e desvantagens, assim como seu processo de fabricação. Foi estudado e organizado em tópicos para futura dissertação deste conteúdo.

Para comprovar as tendências mundiais do uso da madeira laminada colada, foram selecionados estudos de caso que utilizassem o produto no exterior. Foram estudados projetos precursores, antigos, novos, utópicos e até os mais ambiciosos já sendo construídos. Após isso, foram escolhidos os projetos construídos que mais demonstrassem sua solidez e ambição no mercado estrangeiro.

Porém, ainda era importante mostrar que no Brasil também já tinha essa possibilidade. Por isso, foi escolhido um estudo de caso brasileiro em construção, também sustentado pelas mesmas ambições dos projetos do exterior. Demonstrou-se portanto, não ser um produto apenas para construções pequenas, mas que também sustenta obras de grande escala.

Finalizada esta etapa de estudo e comprovação da qualidade do material estudado, iniciou-se o levantamento de manuais tanto brasileiros quanto estrangeiros que abrangessem a concepção de projetos com o uso do CLT. Foram lidos vários manuais e selecionados cinco segundo alguns parâmetros:

1. Similaridade de unidades de medida (uso de metros, célsius e quilogramas);
2. Similaridade de contexto bioclimático;
3. Completude;
4. Objetividade;
5. Quantidade e qualidade de detalhes construtivos;
6. Quantidade e qualidade das tabelas de pré-dimensionamento.

Observa-se que nem todos os manuais seguem todos os parâmetros, mas foram escolhidos de forma que existisse pelo menos um manual para cada parâmetro, a fim de compilar informações em um novo manual que seguisse todos os critérios descritos.

Após a seleção desses manuais, foram geradas tabelas síntese com informações de cada capítulo de cada manual. Foram escolhidos descrever:

1. A empresa, ou autor;
2. O número de páginas. Para mensurar qual seria a quantidade ideal de páginas para um manual objetivo;
3. O ano de publicação. Com o intuito de identificar desde quando o manual existe em cada país;
4. O país. Para compreender o contexto e o motivo dos capítulos, por exemplo: carga de neve, ou abalos sísmicos;
5. Número de capítulos. Com o objetivo de analisar a extensão de cada capítulo conforme o número de páginas e seus temas;
6. O tema de cada capítulo. A fim de analisar quais temas seriam mais essenciais em um manual sintético e voltado ao contexto brasileiro;
7. Consideração geral. Por fim, foi descrita uma consideração geral de cada manual resumindo os pontos positivos que deveriam ser seguidos no manual proposto e os pontos negativos que deveriam ser desconsiderados.

Seguida a seleção e análises dos manuais separadamente, sentiu-se a necessidade de estabelecer uma análise comparativa entre eles. E por isso, foi criada uma nova tabela que comparou os cinco manuais e os pontos principais descritos nos mesmos. Foram definidos 12 parâmetros gerais e alguns se discriminaram mais especificamente. Esta tabela possibilitou uma visão mais ampla de quais tópicos eram presentes ou não, melhor descritos, ou mais objetivos em cada manual. A partir disso, foi possível determinar quais elementos deveriam ser escolhido para estudo ou baseado em qual manual.

Assim, iniciou-se a confecção do manual final. Primeiramente foram estabelecidos os capítulos que deveriam ser abordados, levando em consideração o pouco conhecimento do produto, o diferente contexto da maioria dos manuais existentes, e os principais tópicos para compreensão de um projeto de arquitetura. Estes sendo:

1. Explicação sintética do CLT. Para dispersar o conhecimento e atrair quem não conhece o produto;
2. Vantagens do produto. Para informar e instigar seu uso;
3. Seção explicativa de como utilizar o manual. A fim de melhor compreensão dos passos a serem seguidos para concepção de um projeto arquitetônico;
4. Tabelas de dimensões dos painéis. Para selecionar a dimensão do painel a ser utilizado;
5. Tabelas de pré-dimensionamento. Com intuito de ter uma ideia próxima da dimensão do painel levando em conta a resistência ao incêndio e as cargas permanentes e variáveis.
6. Detalhes construtivos da montagem dos painéis.
7. Detalhes construtivos dos revestimentos.
8. Tabelas e mapa de desempenho térmico. Foram selecionadas tabelas e mapa da norma de desempenho NBR 15.575 a fim de categorizar as zonas bioclimáticas brasileiras;
9. Tabelas de desempenho térmico por componente. Foram criadas tabelas que classificam uma composição de painel em CLT e revestimento segundo uma das zonas bioclimáticas brasileiras. Assim é possível analisar que tipo de composição deve ser usado em cada contexto;
10. Roteiro de teste para outros tipos de composições. Destinou-se a testar diferentes tamanhos de painéis e outros revestimentos e ainda, ensina a classificar conforme a zona bioclimática desejada.

Foram excluídos alguns tópicos presentes em manuais estudados por se tratar da criação de um manual sintético e objetivo, não vinculado a nenhuma empresa fornecedora do produto. Dentre eles: comparação com outros materiais, indicação de adesivos e espécies, explicação do processo de fabricação, explicação das propriedades, estudos de casos, análise do controle de qualidade, custos, carga e transporte.

Assim que se determinou os tópicos que o manual deveria seguir, começou-se a produção escrita e gráfica.

As tabelas de dimensões e pré-dimensionamento do manual foram selecionadas da empresa classificada como a possuidora das melhores tabelas e traduzidas do inglês para português.

Os detalhes construtivos foram escolhidos dentre dois manuais estudados na pesquisa. Foram escolhidos detalhes gerais que abrangem a maioria das situações comuns de montagens de uma construção com CLT para melhor compreensão do projeto. Para os detalhes de revestimentos, enumerou-se as camadas para três tipos de situações revestidas: paredes, lajes e coberturas. Algumas imagens foram alteradas e outras criadas pela autora, além de traduzidas do inglês para o português.

As tabelas de desempenho térmico foram retiradas da norma NBR 15.575 e o mapa das zonas criado pela autora, segundo a mesma norma.

As tabelas de desempenho térmico por componente foram inteiramente criadas pela autora. Foram adotadas as composições dos detalhes construtivos de revestimentos selecionados e enumeradas as camadas que os compunham. Logo, foi consultada a tabela de dimensões dos painéis e verificado as espessuras possíveis dos painéis. Posteriormente, acessando o site: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/> foi possível criar composições adicionando as camadas desejadas seguindo o detalhe construtivo. As espessuras foram variadas pela autora até que a composição se encaixasse na zona bioclimática desejada. Foi feita uma composição para a maior e outra para a menor espessura da tabela de dimensões para cada quantidade de camadas no projetee. Por exemplo, na tabela de dimensões de laje, o painel de 3 camadas possuía espessuras de 6 até 12cm, portanto foram feitas composições para 6cm e 12cm, a fim de verificar em qual zona seria classificada cada composição. Esta classificação se dava, analisando os resultados da transmitância térmica e atraso térmico no projetee, junto as tabelas de desempenho da norma NBR 15.575.

Por fim, não seria possível criar todas as situações que os leitores poderiam precisar, e por isso se encerrou ensinando os passos aqui mencionados para criação de novas composições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos estudos realizados acerca do CLT, foi percebido uma quantidade reduzida de materiais até mesmo para pesquisa do produto como fundamentação teórica da pesquisa. Porém a escassez de manuais brasileiros para base do manual proposto foi muito maior. Existe grande quantidade de manuais estrangeiros, com diversas abordagens, já no Brasil, ainda não se tem esta opção. O único catálogo brasileiro encontrado, é bastante focado no produto e não na parte projetual ou no contexto brasileiro.

Por isso, optou-se por basear o manual elaborado nas partes dos manuais que mais focassem no projeto arquitetônico, além de adicionar os itens considerados faltantes para um contexto brasileiro.

Baseando-se no manual Stora Enso, o manual proposto iniciou-se com uma explicação sintética do CLT e suas vantagens, e então adicionado um capítulo de “Como usar o manual” com um passo a passo para seu uso

Posteriormente, embasado no manual da KLH, as tabelas de dimensões e pré-dimensionamento dos painéis foram traduzidas, gerando os dois modelos a seguir nas tabelas 10 e 11.

2. PAREDE

Espessura nominal Camadas - Tipo Espessura por camada

KLH 60 mm	3s TT	20	20	20				
KLH 70 mm	3s TT	25	20	25				
KLH 80 mm	3s TT	30	20	30				
KLH 90 mm	3s TT	30	30	30				
KLH 100 mm	3s TT	30	40	30				
KLH 110 mm	3s TT	35	40	35				
KLH 120 mm	3s TT	40	40	40				
KLH 100 mm	5s TT	20	20	20	20	20		
KLH 110 mm	5s TT	25	20	20	20	20	25	
KLH 120 mm	5s TT	30	20	20	20	20	30	
KLH 130 mm	5s TT	30	20	30	20	30		
KLH 140 mm	5s TT	30	30	20	30	30		
KLH 150 mm	5s TT	30	35	20	35	30		
KLH 160 mm	5s TT	30	35	30	35	30		
KLH 180 mm	7s TT	30	20	30	20	30	20	30

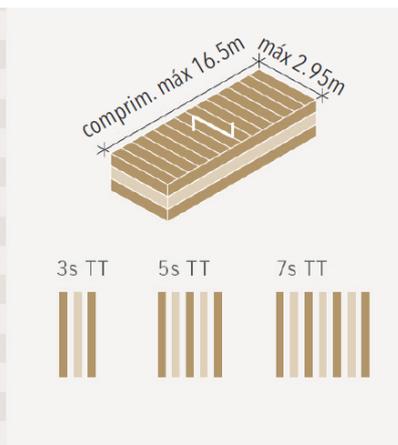


Tabela 10: Tabela de dimensões da KLH traduzida pela autora.

Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018 - Traduzido pela autora - Apêndice A.

Carga perm.	Carga varia.		Altura do Painel					
	$g_{2,k}$	n_1	3,00 m	4,00 m	5,00 m	6,00 m	7,00 m	
[kN/m ²]	category	[kN/m ²]						
1,00	A	1,50	5s 120 TL	5s 140 TL	5s 170 TL	7s 220 TL	7ss 260 TL	
		2,00						
		2,80						
	B	3,00		5s 140 TL				7ss 280 TL
		3,50						
		4,00						
C	5,00							
	A	1,50	5s 120 TL	5s 140 TL	5s 170 TL	7s 220 TL	7ss 280 TL	
		2,00						
2,80								
B	3,00	5s 140 TL						
	3,50							
	4,00							
C	5,00							
	A	1,50	5s 120 TL	5s 140 TL	5s 180 TL	7s 220 TL	7ss 280 TL	
		2,00						
2,80								
B	3,00	5s 140 TL		7s 240 TL				
	3,50							
	4,00							
C	5,00							
	A	1,50	5s 120 TL		5s 140 TL	5s 200 TL	7s 240 TL	7ss 280 TL
		2,00						
2,80								
B	3,00	7s 240 TL						
	3,50							
	4,00							
C	5,00							
	A	1,50	5s 120 TL	5s 150 TL	5s 200 TL	7s 240 TL	7ss 280 TL	
		2,00						
2,80								
B	3,00	7ss 250 TL						
	3,50							
	4,00							
C	5,00							

R 60

R 90

R 120

Tabela 11: Tabela de pré-dimensionamento da KLH traduzida pela autora.

Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018 - Traduzido pela autora - Apêndice A.

Através de análises, foi possível perceber que alguns detalhes construtivos teriam que ser adaptados para a inserção no manual brasileiro. Os detalhes construtivos brasileiros não eram suficientes, e os internacionais, apesar de terem mais informações, possuíam elementos confusos ou desnecessários para o contexto climático brasileiro. Por exemplo, o Canada Handbook tinha detalhes construtivos de revestimento que nenhum outro manual alcançava algo parecido, mas em virtude das condições climáticas do Canadá, o isolamento térmico era demais para o Brasil. Devido a isso, alguns deles foram apenas traduzidos, outros adequados graficamente, e outros refeitos e adequados ao contexto brasileiro, conforme figuras 18,19,20 e 21.

1. DETALHE FUNDAÇÃO

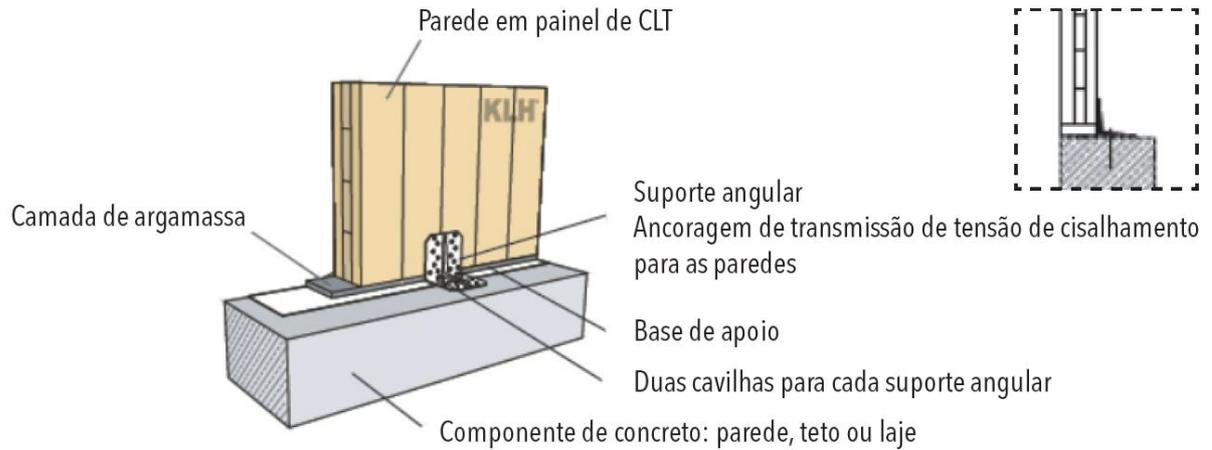


Figura 18: Detalhe da KLH traduzido pela autora.

Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018 - Traduzido pela autora - Apêndice A.

PAREDE INCLINADA



Figura 19: CROSSLAM. Cross Laminated Timber. São Paulo, 2016. - Adequado pela autora

Fonte: Alterado pela autora - Apêndice A.

1. PAREDE

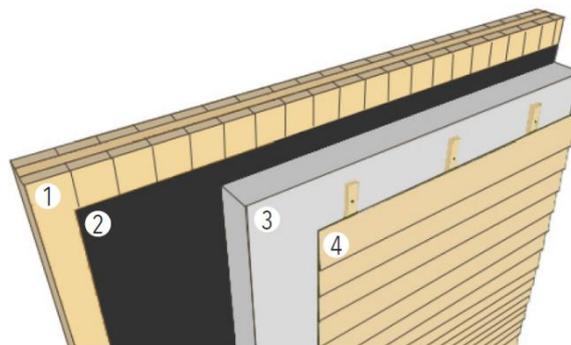


Figura 20: FPI INNOVATIONS. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Canada, 2011. -

Adequado e traduzido pela autora

Fonte: Traduzido e alterado pela autora - Apêndice A.

2. LAJE

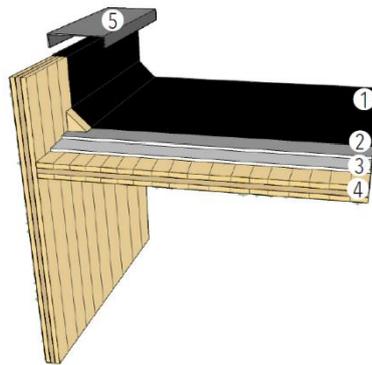


Figura 21: Detalhe baseado no Canada produzido pela autora.

Fonte: Baseado em: FPI INNOVATIONS. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Canada, 2011.- Produzido pela autora - Apêndice A

Após leitura da norma de desempenho NBR 15,575, foram adicionadas tabelas de desempenho térmico e mapas, mostrados nas tabelas 12 e 13 e figura 22, para consulta das zonas bioclimáticas.

1. Tabela de Abertura de Ventilação

ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO	A (em % da área do piso)
PEQUENAS	$10\% < A < 15\%$
MÉDIAS	$15\% < A < 25\%$
GRANDES	$A > 40\%$

Tabela 12: Tabela de aberturas da NBR 15.575 adaptada pela autora

Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.- Apêndice A.

2. Tabela de Transmitância e atraso térmico e fator de calor admissíveis para cada tipo de vedação externa

VEDAÇÕES EXTERNAS		TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U -W/m ² .K	ATRASO TÉRMICO (h)	FATOR SOLAR F _{So} (%)
PAREDES	LEVE	$U \leq 3,00$	$H \leq 4,30$	$F_{So} \leq 5,00$
	LEVE REFLETORA	$U \leq 3,60$	$H \leq 4,30$	$F_{So} \leq 4,00$
	PESADA	$U \leq 2,20$	$H \geq 6,50$	$F_{So} \leq 3,50$
COBERTURAS	LEVE ISOLADA	$U \leq 2,00$	$H \leq 3,30$	$F_{So} \leq 6,50$
	LEVE REFLETORA	$U \leq 2,30$.FT	$H \leq 3,30$	$F_{So} \leq 6,50$
	PESADA	$U \leq 2,00$	$H \geq 6,50$	$F_{So} \leq 6,50$

Tabela 13: Tabela de transmitância e atraso térmico da NBR 15.575 adaptada pela autora

Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008. - Apêndice A.

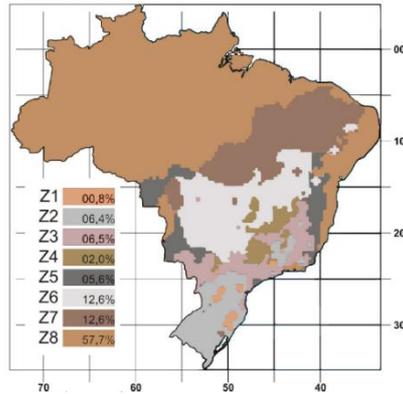


Figura 22: Mapa das zonas bioclimáticas

Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008. - Adequado pela autora - Apêndice A

Por fim, foram elaboradas tabelas de desempenho térmico com algumas possibilidades de composições. Como se pode ver na tabela 14, a quantidade de composições de painéis classificados como leves, ou leve refletores pela norma de desempenho são mínimos. Concluiu-se que painéis de três camadas atendem a grande maioria das situação bioclimáticas do Brasil. Enquanto isso, a maioria das outras espessuras de painéis produzidos pelas empresas são classificados como pesados demais para a condição climática brasileira. Por isso a necessidade de fazer um manual adaptado e com esses resultados conscientes. Nota-se também que essas espessuras consideradas pesadas, podem ser solicitadas estruturalmente ou pela norma de incêndio, e por isso não podem ser excluídas das tabelas.

Revestimento: placa cimentícea 1cm							
Camadas	Espessura	Isolamento	Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
3	6cm	1cm	1,2	3,7	$U \leq 3,00$ e $H \leq 4,30$	Leve e Leve Refl.	1,2,3,5,8
3	12cm	1cm	0,8	6,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	10cm	3cm	0,6	7,1	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	16cm	-	0,8	7,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
7	18cm	-	0,7	8,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7

* Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Tabela 14: Tabela de desempenho térmico

Fonte: Produzida pela autora - Apêndice A.

Finalmente, acredita-se que o manual elaborado, disponível no apêndice A, ficou sintético e de simples compreensão como planejado. Foram utilizadas tabelas e desenhos habilitando o leitor a conceber um projeto em madeira laminada colada, assim como potencializar o uso do produto no contexto brasileiro. Considera-se uma sugestão para futuras pesquisas a possibilidade de explorar mais o desempenho acústico e de incêndio do CLT no Brasil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo proposto no início da pesquisa consistiu em elaborar um manual sucinto e de simples leitura para possibilitar os leitores a criarem projetos arquitetônicos em CLT.

Por meio da leitura de vários autores, compreendeu-se mais sobre o CLT, suas vantagens, desvantagens, processo de fabricação, estudos de caso, manuais existentes, dentre outros.

Foram coletados dados e analisados manuais para verificar quais eram os itens essenciais, assim como os itens ausentes. A partir disso, foi concebido o manual com novas tabelas de pré-dimensionamento, detalhes construtivos selecionados para as situações mais frequentes e se adequando as condições climáticas brasileiras, novas tabelas de desempenho térmico e instruções para criação de situações próprias.

Todo este material foi resultado de estudo e análise de resultados para melhor adequação de um manual adaptado ao contexto climático brasileiro e conseqüentemente os resultados e constatações foram voltadas ao desempenho térmico. Portanto, para pesquisas futuras, entende-se como relevante, a possibilidade de estudos mais aprofundados verificando os parâmetros de desempenho acústico e de incêndio no Brasil, que apesar de serem citados e até apresentados no manual, não são aprofundados como o desempenho térmico.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J.B.M. *Sistema Construtivo em Madeira Laminada Colada Cruzada ou Cross Laminated Timber (CLT) Análise da Viabilidade técnica da madeira com baixo valor agregado*. Londrina, 2015.

ARAÚJO, Márcio. *A moderna construção sustentável*. Cruz das Almas, Bahia, 2013.
Disponível em: http://www.idhea.com.br/artigos_entrevistas.asp. Acesso 29/04/2017 às 22:44

BURNETT, Eric F.P; STRAUBE, John. *Building Science for Building Enclosures*. Westford, Massachussets, 2005.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. *Florestas do Brasil em resumo*. Brasília, 2010

CROSSLAM, *Cross Laminated Timber*. São Paulo, 2016.

CRUZ, Paulo. *Structures and Architecture: Beyond their Limits*. London, New York. 2016.
Disponível em:
https://books.google.com.br/books?id=DhANDgAAQBAJ&pg=PA119&dq=Cross+laminated+timber+CNC&hl=pt-BR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Cross%20laminated%20timber%20CNC&f=false
Acesso 22/08/2018 03:17

DOUGLAS. B; KARACABEY. E. *Cross Laminated Timber Handbook*, FPI Innovations. Quebec Canada, 2013.

FPI INNOVATIONS. *CLT Handbook: Cross Laminated Timber*. Canada: 2011.

FREITAG, Susanne; LENNARTZ, Marc . *New Architecture in Wood: Forms and Structures*. Suíça, 2016.
Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=GfM-CwAAQBAJ&pg=PA39&dq=Cross+laminated+timber+CNC&hl=pt-BR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Cross%20laminated%20timber%20CNC&f=false
Acesso 22/08/2018 03:17

HAMMOND, Geoffrey. *Embodied energy and carbon in construction materials*. Reino Unido, 2011.

JESKA, Simone; SALEH, Khaled. *Emergent Timber Technologies: Materials, Structures, Engineering, Projects*. Suíça, 2015.
Disponível em:
https://books.google.com.br/books?id=cSznBQAAQBAJ&pg=PA56&dq=Cross+laminated+timber+CNC&hl=ptBR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Cross%20laminated%20timber%20CNC&f=false Acesso 22/08/2018 03:20

KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Cross Laminated Timber*. Austria, 2018

LIMA, Ludmila, C. *Dois estudos de caso da aplicação de madeira laminada compensada na arquitetura*. São Paulo, 2015.

MALLO, Maria; ESPINOZA, Omar. *Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States*. Minnesota, 2014.

MALMSHEIMER, Robert. *Forest management solutions for mitigating climate change in the United States*. New York, 2008.

MAYR-MELNHOF, Holz Gaishorn. *MM Crosslam Cross-Laminated Timber*. Austria, 2016.

PASSARELLI, Rafael. *Cross Laminated Timber: Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no estado de São Paulo*. São Carlos, 2013.

SILVA, C.A.; CHIRINÉA, M.B.B.; BARROS, M.M.S.B. *Cross Laminated Timber (CLT): Uma tecnologia construtiva viável no Brasil?*. São Paulo, 2016.

STORA, Enso. *Stora Enso CLT Technical Brochure*. Helsinki, Finlândia, 2017.

VILELA, Mario; KUSHNER, Marc, *O futuro da arquitetura em 100 construções*. São Paulo, 2015.

ZERBINI, Fabíola. *Cenário da Madeira FSC no Brasil*. São Paulo, 2012. p.31.

ZENID, Geraldo José. *Madeira: uso sustentável na construção civil*. 2. ed. São Paulo : IPT, 2009. 99p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575. *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*. Rio de Janeiro, 2008.

SITES:

<http://www.rethinkwood.com/tall-wood-mass-timber/products/cross-laminated-timber-clt>
Acesso 05/05/2017 às 14:20

<http://www.institutodamadeira.com.br/2011/09/edificio-em-madeira-stadthaus.html>
<https://www.e-architect.co.uk/london/stadthaus-murray-grove>

<http://ciclovivo.com.br/noticia/predio-de-madeira-ganha-premio-de-melhor-construcao-residencial-do-mundo/> Acesso: 02/10/2017 às 09:56

<http://baumad.com/2017/06/13/viviendas-patch-22-amsterdam/> Acesso: 02/10/2017 às 10:59

<http://baumad.com/wp-content/uploads/2017/06/planta.jpg> Acesso: 02/10/2017 às 10:10

<http://www.archdaily.com.br/br/879671/maior-arranha-ceu-de-madeira-do-mundo-e-concluido-em-vancouver> Acesso 22/08/2018 às 00:45

https://pt.wikipedia.org/wiki/Comando_num%C3%A9rico_computadorizado#/media/File:Small_CNC_Turning_Center.jpg Acesso: 29/04/2017 às 00:41

<http://www.clt.info/en/product/clt-massive-wood-system/> Acesso: 05/05/2017 às 14:11

<http://www.crosslam.com.br/home/> Acesso: 29/04/2017 às 22:26

<http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CNC-Hundeger-PBA.jpg> Acesso: 04/05/2014 às 23:07

<http://www.itaconstrutora.com.br/por-um-mundo-sustentavel/> Acesso: 23/08/2018 às 10:15

<http://jornal.usp.br/atualidades/brasil-registra-a-maior-retracao-na-historia-da-economia-nacional/> Acesso: 04/05/2017 às 23:16

<http://1.bp.blogspot.com/-DCsBjK-NnFU/ToD9h2raVAI/AAAAAAAAAw/8pqA99GQNSY/s1600/7+%25281%2529.jpg> Acesso: 13/08/2017 às 16:29

<http://images.adsttc.com/media/images/5127/8747/b3fc/4b11/a700/1e9d/newsletter/stadhaus-wt01.jpg?1414354209> Acesso: 13/08/2017 às 16:29

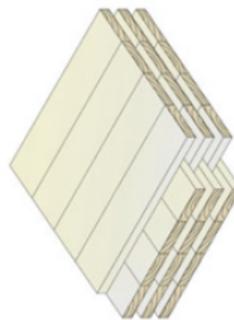
[https://images.adsttc.com/media/images/59c1/31e2/b22e/3890/3e00/00c9/slideshow/VIEW_2_F_\(Custom\).jpg?1505833436](https://images.adsttc.com/media/images/59c1/31e2/b22e/3890/3e00/00c9/slideshow/VIEW_2_F_(Custom).jpg?1505833436) Acesso: 01/11/2017 às 09:31

<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/> Acesso 22/03/2018 às 15:56

APÊNDICE A – MANUAL PARA PROJETOS EM CLT CROSS LAMINATED TIMBER

O que é o CLT?

- 01 Painéis formados por 3,5,7 ou 8 camadas de lâminas de madeira
- 02 Organizados de forma cruzada, em ângulos retos
- 03 Ligados por adesivo perpendicularmente
- 04 CLT = Cross Laminated Timber = Madeira Laminada Cruzada



Fonte: DOVETAIL (2016)

2

Manual para projetos em CLT Cross Laminated Timber



GABRIELA ALVES
AILTON MORAES
2018

Vantagens



Diminui efeito estufa



Construções mais leves



Uso de florestas subutilizadas



Excelente conforto termo-acústico



Processo produtivo automatizado



Grande resistência ao fogo



Maior controle de qualidade



Grande resistência a abalos sísmicos



Tudo pronto antes da obra



Rápida montagem



Alcança grandes alturas

3

Como usar o manual?

O objetivo desse manual é auxiliar e informar de forma rápida e sucinta os leitores como conceber um projeto arquitetônico em CLT.

01 passo

Conheça os painéis disponíveis nas tabelas da página 5 na seção "Dimensões dos Painéis". Analise a espessura, quantidade e disposição de camadas.

02 passo

Verificar nas páginas 6 a 9, na seção "Tabelas de pré-dimensionamento", as cargas e resistência ao fogo que cada painel possibilita.

03 passo

Explore os detalhes estruturais das páginas 10 a 12, para compreender as montagens e encaixes dos painéis.

04 passo

Analise os detalhes construtivos de revestimentos na página 13, para verificar as camadas necessárias, além do CLT, nesse tipo de projeto.

05 passo

Conheça as tabelas de desempenho térmico na página 14, verifique a zona do seu projeto e quais requisitos ele terá de atingir para um bom desempenho térmico.

06 passo

Escolha o seu painel através das tabelas contidas nas páginas 15 a 17. Lembre-se de observar quais espessuras e quantidades de camadas mais se adequam a zona climática do seu projeto.

Se for necessário fazer uma composição diferente das já fornecidas, aprenda a fazer a sua na seção "Como fazer sua composição" na página 18.

4

Dimensões dos painéis

Tabela de fabricação

1. LAJE

Espessura nominal	Camadas - Tipo	Espessura por camada
KLH 60 mm	3s TL	20 20 20
KLH 70 mm	3s TL	20 30 20
KLH 80 mm	3s TL	30 20 30
KLH 90 mm	3s TL	35 20 35
KLH 100 mm	3s TL	35 30 35
KLH 110 mm	3s TL	35 40 35
KLH 120 mm	3s TL	40 40 40
KLH 130 mm	3s TL	40 40 40
KLH 140 mm	3s TL	40 40 40
KLH 150 mm	3s TL	40 40 40
KLH 160 mm	3s TL	40 40 40
KLH 170 mm	3s TL	40 40 40
KLH 180 mm	3s TL	40 40 40
KLH 190 mm	3s TL	40 40 40
KLH 200 mm	3s TL	40 40 40
KLH 210 mm	3s TL	40 40 40
KLH 220 mm	3s TL	40 40 40
KLH 230 mm	3s TL	40 40 40
KLH 240 mm	3s TL	40 40 40
KLH 250 mm	3s TL	40 40 40
KLH 260 mm	3s TL	40 40 40
KLH 280 mm	3s TL	40 40 40
KLH 300 mm	3s TL	40 40 40
KLH 320 mm	3s TL	40 40 40

Camadas - Tipo	Espessura por camada
3s TL	20 20 20
5s TL	20 20 20 20 20
7s TL	20 20 20 20 20 20 20
8s TL	20 20 20 20 20 20 20 20

Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora

2. PAREDE

Espessura nominal	Camadas - Tipo	Espessura por camada
KLH 60 mm	3s TT	20 20 20
KLH 70 mm	3s TT	20 20 20
KLH 80 mm	3s TT	20 30 20
KLH 90 mm	3s TT	30 30 30
KLH 100 mm	3s TT	30 40 30
KLH 110 mm	3s TT	35 40 35
KLH 120 mm	3s TT	40 40 40
KLH 130 mm	3s TT	40 40 40
KLH 140 mm	3s TT	40 40 40
KLH 150 mm	3s TT	40 40 40
KLH 160 mm	3s TT	40 40 40
KLH 180 mm	3s TT	40 40 40

Camadas - Tipo	Espessura por camada
3s TT	20 20 20
5s TT	20 20 20 20 20
7s TT	20 20 20 20 20 20 20

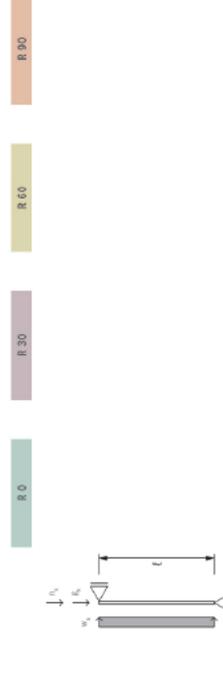
Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora

Tabelas de pré-dimensionamento

1. PAREDE EXTERNA

*Exposição ao fogo em uma das faces.
 **Espessura mínima do painel para classes de resistência ao fogo (R0-R90) em caso de exposição ao fogo unilateral.

Carga perm. $q_{s,s}$ [kN/m]	Carga varia. q_v [kN/m]	Altura do Painel											
		2,73 m				2,95 m				3,17 m			
		R 0	R 30	R 60	R 90	R 0	R 30	R 60	R 90	R 0	R 30	R 60	R 90
10,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT
20,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT
30,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT
40,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT
50,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT
60,00	10,00	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT	3s 60 TT	3s 80 TT	5s 100 TT	5s 120 TT



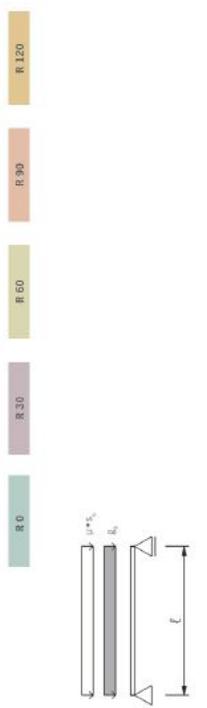
Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora

Tabelas de pré-dimensionamento

4. COBERTURA- VÃO ÚNICO

*Espessura mínima do painel para classes de resistência ao fogo (R0-R90) em caso de exposição ao fogo unilateral.

Carga perm. $S_{k,1}$ [kN/m ²]	Carga varia. $s = \mu \cdot S_{k,2}$ [kN/m ²]	Altura do Painel				
		3,00 m	4,00 m	5,00 m	6,00 m	7,00 m
0,50	1,00	35,60 TL	35,80 TL	35,100 TL	35,170 TL	35,140 TL
	2,00	35,70 TL	35,90 TL	35,120 TL	35,140 TL	35,140 TL
	3,00	35,80 TL	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,160 TL
	4,00	35,90 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	5,00	35,95 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	6,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	7,00	35,140 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,200 TL	35,200 TL
	8,00	35,70 TL	35,70 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	9,00	35,80 TL	35,80 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	1,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
1,00	1,00	35,100 TL	35,130 TL	35,170 TL	35,210 TL	35,210 TL
	2,00	35,100 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,230 TL	35,230 TL
	3,00	35,70 TL	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,150 TL
	4,00	35,80 TL	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,160 TL
	5,00	35,90 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	6,00	35,95 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	7,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	8,00	35,140 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,200 TL	35,200 TL
	9,00	35,110 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	1,00	35,80 TL	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,160 TL
1,50	1,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	2,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	3,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	4,00	35,95 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,200 TL	35,200 TL
	5,00	35,100 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,210 TL	35,210 TL
	6,00	35,140 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,220 TL	35,220 TL
	7,00	35,110 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	8,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	9,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	1,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
2,00	1,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	2,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	3,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	4,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	5,00	35,140 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,200 TL	35,200 TL
	6,00	35,110 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	7,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	8,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	9,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	1,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
2,50	1,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	2,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	3,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	4,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	5,00	35,140 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,200 TL	35,200 TL
	6,00	35,110 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL
	7,00	35,80 TL	35,110 TL	35,140 TL	35,170 TL	35,170 TL
	8,00	35,90 TL	35,120 TL	35,150 TL	35,180 TL	35,180 TL
	9,00	35,100 TL	35,130 TL	35,160 TL	35,190 TL	35,190 TL

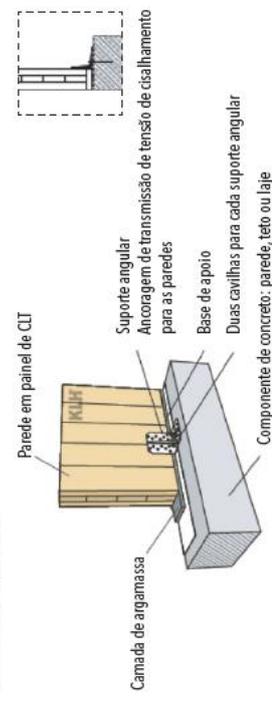


Fonte: KIH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018. Traduzido pela autora

Detalhes construtivos

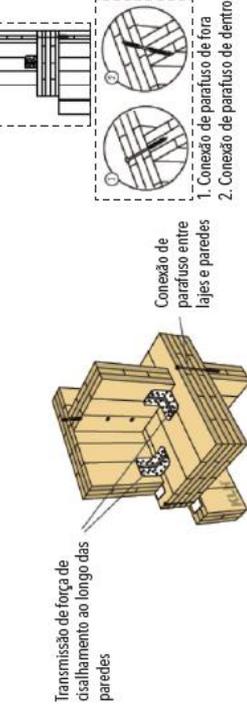
Montagem dos painéis

1. DETALHE FUNDAÇÃO



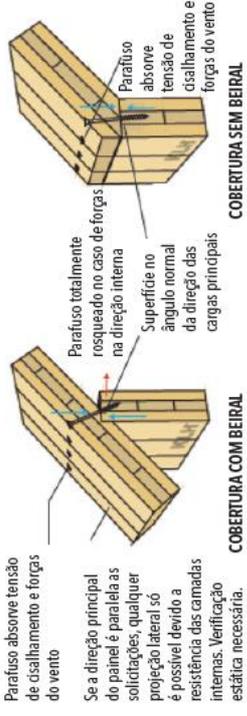
Fonte: KIH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018. Traduzido pela autora

2. DETALHE PAREDE-PAREDE-LAJE



Fonte: KIH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018. Traduzido pela autora

3. DETALHE PAREDE-COBERTURA

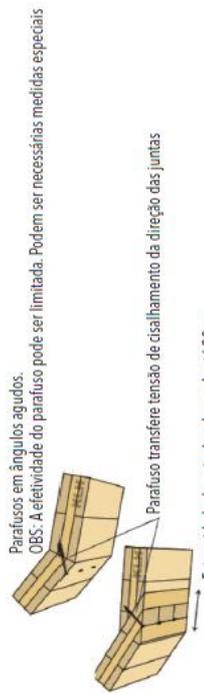


Fonte: KIH MASSIVHOLZ GMBH. Cross Laminated Timber. Áustria, 2018. Traduzido pela autora

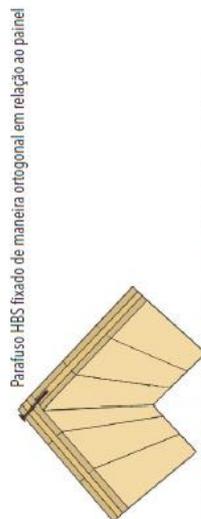
Detalhes construtivos

Montagem dos painéis

4. DETALHE PAREDE-PAREDE



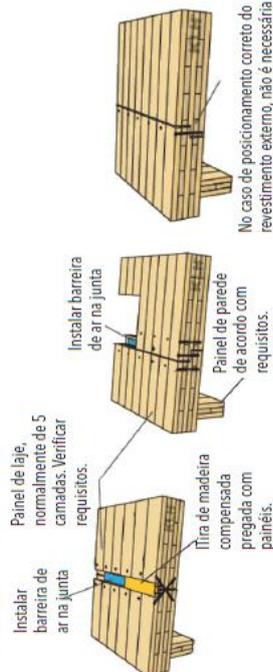
Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora
PAREDE INCLINADA



Fonte: CROSSLAM, Cross Laminated Timber, São Paulo, 2016. - Adequado pela autora

PAREDE PERPENDICULAR

5. DETALHE LAJE-LAJE



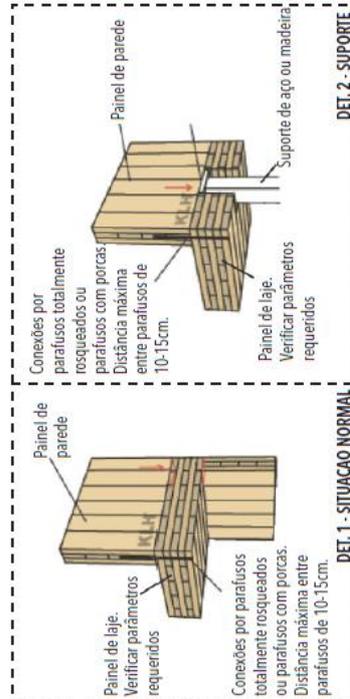
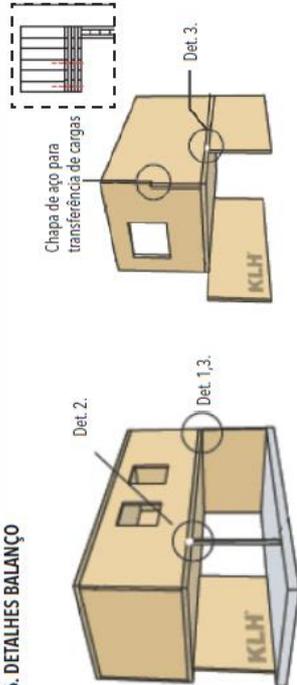
Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora

11

Detalhes construtivos

Montagem dos painéis

6. DETALHES BALANÇO



DET. 1 - SITUAÇÃO NORMAL

Painel de parede

Conexões por parafusos totalmente rosqueados ou parafusos com porcas. Distância máxima entre parafusos de 10-15cm.

DET. 2 - SUPORTE

Painel de parede

Conexões por parafusos totalmente rosqueados ou parafusos com porcas. Distância máxima entre parafusos de 10-15cm.

Componente de aço para desvio das forças atuantes.

DET. 3 - COMPONENTE

Painel de parede

Conexões por parafusos totalmente rosqueados ou parafusos com porcas. Distância máxima entre parafusos de 10-15cm.

Componente de aço para desvio das forças atuantes.

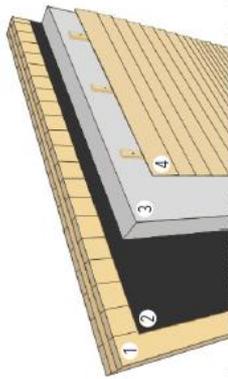
Fonte: KLH MASSIVHOLZ GMBH, Cross Laminated Timber, Áustria, 2018 - Traduzido pela autora

12

Detalhes construtivos

Revestimento

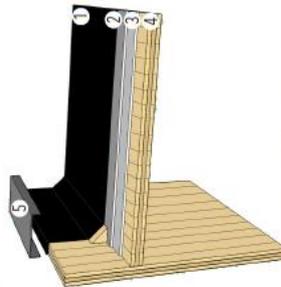
1. PAREDE



1. Painel CLT de parede
2. Manta hidrófuga
3. Isolamento
4. Revestimento Externo

Fonte: FPI INNOVATIONS. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Canada, 2011. - Adequado e traduzido pela autora

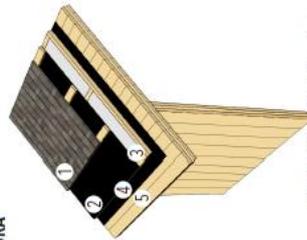
2. LAJE



1. Manta hidrófuga
2. Placa cimentícia
3. Isolamento
4. Painel CLT de laje
5. Rufo

Fonte: Baseado em: FPI INNOVATIONS. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Canada, 2011. - Produzido pela autora

3. COBERTURA



1. Telha
2. Manta hidrófuga
3. Isolamento
4. Manta hidrófuga
5. Painel CLT de cobertura

Fonte: Baseado em: FPI INNOVATIONS. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Canada, 2011. - Produzido pela autora

13

Tabelas de desempenho térmico

1. Tabela de Abertura de Ventilação

ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO	A (em % da área do piso)
PEQUENAS	10% < A < 15%
MÉDIAS	15% < A < 25%
GRANDES	A > 40%

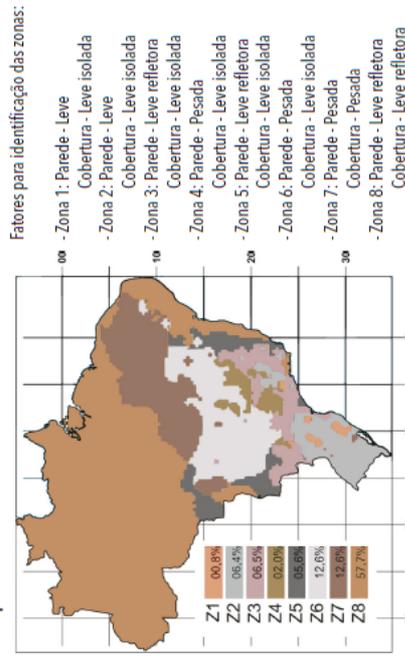
Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

2. Tabela de Transmissão e atraso térmico e fator de calor admissíveis para cada tipo de vedação externa

VEDAÇÕES EXTERNAS	TRANSMISSÃO TÉRMICA U-W/m ² .K	ATRASO TÉRMICO (h)	FATOR SOLAR F _{so} (%)
PAREDES	LEVE	U ≤ 3,00	F _{so} ≤ 5,00
	LEVE REFLETORA	U ≤ 3,60	F _{so} ≤ 4,00
	PESADA	U ≤ 2,20	F _{so} ≤ 3,50
COBERTURAS	LEVE ISOLADA	U ≤ 2,00	F _{so} ≤ 6,50
	LEVE REFLETORA	U ≤ 2,30.FT	F _{so} ≤ 6,50
	PESADA	U ≤ 2,00	F _{so} ≤ 6,50

Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

3. Mapa das Zonas Bioclimáticas



Fonte: NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008. - Adequado pela autora

14

Tabelas de desempenho térmico

Por componente

1. Parede

Composição adotada para cálculo (referente ao det. 1 seção de revestimento):

- Revestimento (consultar na tabela)
- Isolamento EPS (consultar na tabela)
- Manta hidrófuga (não considerada)
- CLT (consultar espessura na tabela)

*Outras possibilidades podem ser alcançadas alterando o parâmetro desejado da composição. Para mais informações sobre como fazer a sua composição, verificar a seção "Como fazer sua composição" na página 18.

Revestimento: placa cimentícia 1cm		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento				
3	6cm	1cm	3,7	$U \leq 3,00$ e $H \leq 4,30$	Leve e Leve Refl.	1,2,3,5,8
3	12cm	1cm	6,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	10cm	3cm	7,1	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	16cm	-	7,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
7	18cm	-	8,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7

*Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

Revestimento: gesso 2cm

Revestimento: gesso 2cm		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento				
3	6cm	1cm	1,1	$U \leq 3,00$ e $H \leq 4,30$	Leve e Leve Refl.	1,2,3,5,8
3	12cm	1cm	0,8	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	10cm	2cm	0,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	16cm	-	0,8	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
7	18cm	-	0,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7

*Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

Revestimento: granito 2,5cm

Revestimento: granito 2,5cm		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento				
3	6cm	-	1,7	$U \leq 3,00$ e $H \leq 4,30$	Leve e Leve Refl.	1,2,3,5,8
3	12cm	1cm	0,8	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	10cm	3cm	0,6	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
5	16cm	-	0,8	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7
7	18cm	-	0,7	$U \leq 2,20$ e $H \geq 6,50$	Pesada	4,6,7

*Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

15

Tabelas de desempenho térmico

Por componente

2. Laje

Composição adotada para cálculo (referente ao det. 2 seção de revestimento):

- Manta hidrófuga (não considerada)
- Placa cimentícia (1cm)
- Isolamento (consultar na tabela)
- CLT (consultar espessura na tabela)

*Outras possibilidades podem ser alcançadas alterando o parâmetro desejado da composição. Para mais informações sobre como fazer a sua composição, verificar a seção "Como fazer sua composição" na página 18.

Sem forro de gesso		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento				
3	6cm	-	1,7	$U \leq 2,00$ e $H \leq 3,30$	Leve iso. e refl.	1,2,3,4,5,6,8
3	12cm	1cm	0,8	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	10cm	3cm	0,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	20cm	-	0,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	20cm	-	0,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	28cm	-	0,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	30cm	-	0,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	32cm	-	0,4	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7

*Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

Com forro de gesso 1cm

Com forro de gesso 1cm		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento				
3	6cm	-	1,6	$U \leq 2,00$ e $H \leq 3,30$	Leve iso. e refl.	1,2,3,4,5,6,8
3	12cm	1cm	0,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	10cm	2cm	0,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	20cm	-	0,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	20cm	-	0,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	28cm	-	0,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	30cm	-	0,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	32cm	-	0,4	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7

*Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

16

Tabelas de desempenho térmico

Por componente

3. Cobertura

Composição adotada para cálculo (referente ao det. 3 seção de revestimento):

- Telha (consultar na tabela)
- Manta hidrófuga (não adotado)
- Isolamento (consultar na tabela)
- Manta hidrófuga (não adotado)
- CLI (consultar espessura na tabela)

*Outras possibilidades podem ser alcançadas alterando o parâmetro desejado da composição. Para mais informações sobre como fazer a sua composição, verificar a seção "Como fazer sua composição" na página 18.

Telha metálica		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
3	6cm	-	2,9	$U \leq 2,00$ e $H \leq 3,30$	Leve iso. e refl.	1,2,3,4,5,6,8
3	12cm	1cm	6,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	10cm	3cm	7,1	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	20cm	-	9,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	20cm	-	9,6	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	28cm	-	13,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	30cm	-	14,4	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	32cm	-	15,4	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7

* Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

Telha cerâmica		Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
Camadas	Espessura	Isolamento	Atraso Térmico	Regra	Classificação	Zona
3	6cm	-	2,9	$U \leq 2,00$ e $H \leq 3,30$	Leve iso. e refl.	1,2,3,4,5,6,8
3	12cm	1cm	6,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	10cm	3cm	7,1	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
5	20cm	-	9,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	20cm	-	9,7	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
7	28cm	-	13,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	30cm	-	14,5	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7
8	32cm	-	15,4	$U \leq 2,00$ e $H \geq 6,50$	Pesada	7

* Transmitância térmica: (W/m²K) * Atraso térmico: horas * Capacidade térmica: (kJ/m²K)

Fonte: Produzido pela autora.

Como fazer sua composição?

Esta seção tem o objetivo de instruir o leitor a elaborar novas possibilidades de composições, caso estas não os atendam.

01 passo

Escolha o componente: parede, laje ou cobertura. Escolha o detalhe construtivo a ser seguido, como os da página 13.

02 passo

Observe as tabelas de "Dimensões de painéis" na página 5 e verifique as espessuras dos possíveis painéis de CLI.

03 passo

Acesse o site <http://projeteeee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>

04 passo

Adicione as camadas e suas espessuras conforme o detalhe construtivo de base.

05 passo

Teste opções com ou sem isolamento e com diferentes materiais. Verifique os resultados da transmitância térmica e atraso térmico.

06 passo

Analise nas tabelas e mapa da página 14 a zona bioclimática que sua composição pode ser utilizada. Caso não tenha sido atingido, altere as camadas e espessuras a fim de atingir a zona climática desejada.

OBS:

Os painéis de 3 camadas e 6cm atendem quase todas as zonas bioclimáticas. Porém os painéis mais espessos podem ser necessários devido a questões estruturais, de incêndio e isolamento acústico.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575. *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*. Rio de Janeiro, 2008.

CROSSLAM. *Cross Laminated Timber*. São Paulo, 2016.

FPI INNOVATIONS. *CLT Handbook: Cross Laminated Timber*. Canada, 2011.

KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Cross Laminated Timber*. Áustria, 2018

<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-constitutivos/> Acesso 22/03/2018 às 15:56