

DURABILIDADE EM EDIFICAÇÕES DE MADEIRA ENGENHEIRADA: o papel do projeto arquitetônico no detalhamento construtivo de habitações térreas

DURABILIDAD EN EDIFICACIONES DE MADERA INGENIERIZADA: el papel del proyecto arquitectónico en el detallado constructivo de viviendas unifamiliares de una sola planta

DURABILITY IN ENGINEERED TIMBER BUILDINGS: the role of architectural design in construction detailing for single-story residential buildings

SOUSA, ELTON BELARMINO DE

Mestre, Doutorando em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo (FAUUSP), eltonbelsousa@usp.br

OLIVEIRA, FABIANA LOPES DE

Doutora e Engenharia Civil, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, floliveira@usp.br

RESUMO

O uso da madeira engenheirada, como a Madeira Lamelada Colada (MLC) e a Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC), tem crescido no setor da construção civil, impulsionado pela busca por soluções mais sustentáveis e eficientes. Entretanto, a durabilidade dessas edificações depende não apenas das propriedades dos materiais, mas principalmente das decisões tomadas ainda na etapa de projeto arquitetônico. Este artigo discute como o projeto pode atuar como elemento estruturador de estratégias de detalhamento construtivo voltadas à proteção da madeira contra agentes de degradação, especialmente a umidade. A pesquisa seguiu uma metodologia que envolveu revisão bibliográfica, análise de catálogos técnicos, elaboração de uma habitação unifamiliar térrea em madeira engenheirada e desenvolvimento dos respectivos detalhes construtivos. Foram identificadas categorias críticas de interfaces e propostas soluções compatíveis com a lógica modular e racional da construção em madeira, fundamentadas em critérios de produção, transporte e montagem empregados pelo setor. Os resultados demonstram que o detalhamento, quando orientado pelo projeto, contribui significativamente para a durabilidade e o desempenho do sistema construtivo. Conclui-se que a articulação entre arquitetura, técnica e execução é essencial para viabilizar edificações longevas, eficientes e sustentáveis com madeira engenheirada. Embora desenvolvidas a partir de uma habitação unifamiliar térrea, as estratégias propostas fundamentam-se em princípios de durabilidade potencialmente aplicáveis a diferentes contextos construtivos, desde que consideradas as adaptações necessárias às exigências estruturais, logísticas, normativas e produtivas de cada situação.

PALAVRAS-CHAVE: madeira engenheirada; detalhamento construtivo; durabilidade.

RESUMEN

El uso de la madera ingenierizada, como la Madera Laminada Encolada (MLE) y la Madera Contralaminada (CLT), ha crecido en el sector de la construcción, impulsado por la búsqueda de soluciones más sostenibles y eficientes. Sin embargo, la durabilidad de estas edificaciones depende no solo de las propiedades de los materiales, sino principalmente de las decisiones tomadas durante la etapa de diseño arquitectónico. Este artículo analiza cómo el proyecto arquitectónico puede actuar como elemento estructurador de estrategias de detallado constructivo orientadas a la protección de la madera frente a agentes de degradación, especialmente la humedad. La investigación siguió una metodología que incluyó revisión bibliográfica, análisis de catálogos técnicos, el desarrollo de una vivienda unifamiliar de una planta en madera ingenierizada y la elaboración de sus respectivos detalles constructivos. Se identificaron categorías críticas de interfaces y se propusieron soluciones compatibles con la lógica modular y racional de la construcción en madera, fundamentadas en criterios de producción, transporte y montaje empleados por el sector. Los resultados demuestran que el detallado, cuando es orientado por el proyecto, contribuye significativamente a la durabilidad y al desempeño del sistema constructivo. Se concluye que la articulación entre arquitectura, técnica y ejecución es esencial para viabilizar edificaciones duraderas, eficientes y sostenibles con madera ingenierizada. Aunque fueron desarrolladas a partir de una vivienda unifamiliar de una sola planta, las estrategias propuestas se fundamentan en principios de durabilidad potencialmente aplicables a diferentes contextos constructivos, siempre que se consideren las adaptaciones necesarias a los requisitos estructurales, logísticos, normativos y productivos de cada situación.

PALABRAS CLAVES: Madera ingenierizada; Detalle constructivo; Durabilidad.

ABSTRACT

The use of engineered wood, such as Glued Laminated Timber (Glulam – GLT) and Cross-Laminated Timber (CLT), has grown in the construction sector, driven by the search for more sustainable and efficient solutions. However, the durability of these buildings depends not only on the properties of the materials but mainly on the decisions made during the architectural design stage. This article discusses how architectural design can act as a structuring element for construction detailing strategies aimed at protecting wood against degradation agents, especially moisture. The research followed a methodology involving a literature review, analysis of technical catalogs, the development of a single-story single-family dwelling in engineered wood and the development of its respective construction details. Critical interface categories were identified, and solutions compatible with the modular and rational logic of timber construction were proposed, based on production, transportation, and assembly criteria employed by the industry. The results demonstrate that detailing, when guided by the design process, contributes significantly to the durability and performance of the construction system. It is concluded that the articulation between architecture, technical requirements, and construction execution is essential for enabling long-lasting, efficient, and sustainable engineered wood buildings. Although developed based on a single-story single-family dwelling, the proposed strategies

are grounded in durability principles that are potentially applicable to different construction contexts, provided that the necessary adaptations are made to meet the structural, logistical, regulatory, and production requirements of each situation.

KEYWORDS: Engineered timber; Construction detailing; Durability.

Recebido em: 02/10/2025

Aceito em: 30/06/2026

1 INTRODUÇÃO

O emprego da madeira engenheirada, especialmente sob as formas de Madeira Lamelada Colada (MLC) e Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC), tem se consolidado como uma alternativa sustentável e tecnicamente eficiente no setor da construção civil. A crescente demanda por soluções construtivas com menor impacto ambiental, capazes de reduzir a pegada de carbono e promover a racionalização de recursos impulsionam o interesse por esses sistemas, que oferecem alta resistência, desempenho uniforme e versatilidade de aplicação. Entretanto, a durabilidade das estruturas em madeira ainda representa um desafio significativo para a consolidação dessa tecnologia, sobretudo em contextos em que a cultura construtiva tradicional é predominantemente associada ao concreto e à alvenaria. Diferentemente de materiais inertes, a madeira demanda cuidados específicos de proteção contra agentes de degradação, como a umidade, organismos xilófagos e ações térmicas. Nesse cenário, os detalhes construtivos tornam-se elementos estratégicos para a mitigação desses riscos, sendo fundamentais para garantir a longevidade das edificações.

Apesar da reconhecida importância do detalhamento para a durabilidade, observa-se a carência de metodologias específicas que orientem o desenvolvimento dessas soluções no contexto da madeira engenheirada. Muitas vezes, a adaptação de práticas concebidas para outros sistemas construtivos resulta em ineficiência ou no surgimento de manifestações ao longo do tempo.

Neste contexto, a pesquisa foi desenvolvida a partir da elaboração de uma habitação unifamiliar térrea em madeira engenheirada, concebida com elementos estruturais em Madeira Lamelada Colada (MLC) e vedações em Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC). A proposta adotou princípios de modulação, racionalização construtiva e pré-fabricação, tomando como referência diretrizes habitacionais aplicadas a projetos de interesse social. A escolha dessa tipologia permitiu analisar, em uma situação projetual concreta, as principais interfaces construtivas associadas à durabilidade da madeira e as estratégias de detalhamento necessárias para sua proteção.

Compreendendo essa lacuna, o objetivo deste trabalho é discutir a importância do projeto arquitetônico como elemento estruturador de estratégias de detalhamento construtivo voltadas à durabilidade de edificações em madeira engenheirada. O ato de projetar vai além da organização espacial e estética dos ambientes: ele define, desde as primeiras decisões de concepção, como a edificação irá se comportar frente às condições críticas que impactam sua longevidade. Nesse sentido, a arquitetura não apenas abriga os detalhes técnicos, mas condiciona e orienta sua necessidade e seu desempenho, tornando-se uma etapa fundamental para a construção de edificações mais duráveis e resilientes.

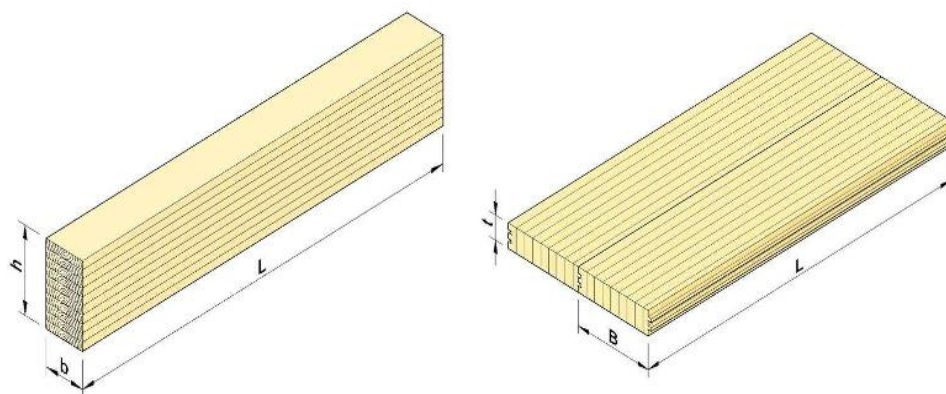
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os conceitos que embasaram a pesquisa, com foco nas características dos sistemas em madeira engenheirada, especialmente a MLC e a MLCC. Também são discutidos aspectos relacionados à durabilidade e a importância do projeto arquitetônico na definição de soluções construtivas adequadas.

MLC e MLCC, sistemas em madeira engenheirada

A Madeira Lamelada Colada (MLC), também conhecida como *Glued Laminated Timber (Glulam)*, é um elemento estrutural produzidos a partir da colagem de lamelas de madeira com as fibras dispostas paralelamente. Tal configuração confere à peça maior resistência e estabilidade em comparação à madeira maciça, como destacam Luz et al. (2020). Geralmente produzida a partir de espécies de reflorestamento como o Pinus (*Pinus taeda*), a MLC tem se consolidado como uma alternativa tecnológica eficiente, especialmente em sistemas construtivos que buscam leveza, sustentabilidade e desempenho estrutural (Figura 1).

Figura 1: Demonstração de MLC



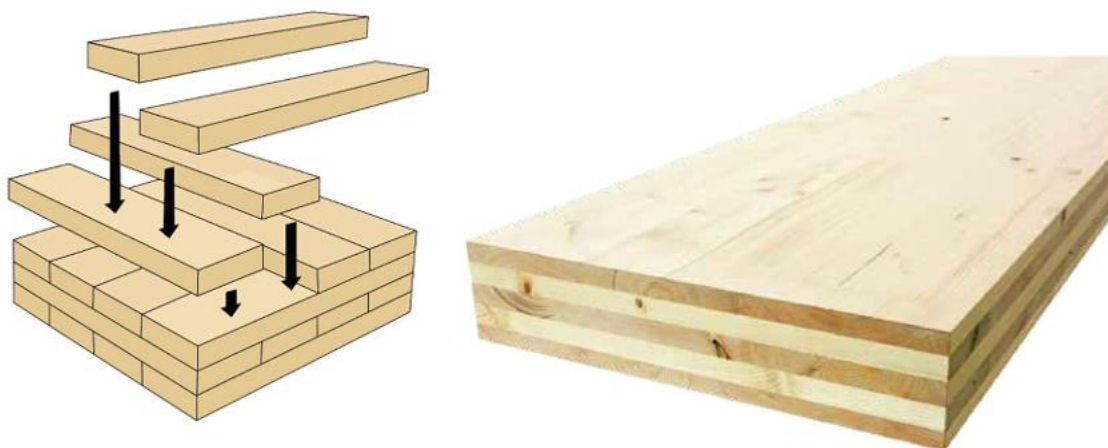
Fonte: Migliani (2019)

A utilização da madeira colada tem registros históricos que remontam à Antiguidade, quando já se aplicavam técnicas rudimentares de colagem para aumentar a resistência das peças. Entretanto, a sistematização do uso da colagem como método construtivo começou a ser documentada na Europa, onde surgiram os primeiros exemplos de aplicação arquitetônica com elementos colados (Kawecki; Podgórski, 2019; Lucena *et al.*, 2019). Um marco histórico relevante nesse processo foi a patente obtida pelo alemão Otto Hetzer, em 1890, para a colagem de laminados estruturais, considerada o ponto de partida da aplicação comercial da MLC (Calil, 2011). Desde então, a técnica foi aprimorada e difundida globalmente ao longo do século XX, viabilizando seu uso em vigas, pilares, arcos, treliças, entre outras aplicações. Como apontam Luz *et al.* (2020), a MLC proporciona ganhos técnicos e estéticos, além de permitir a execução de vãos mais amplos, aumentando a liberdade formal dos projetos arquitetônicos.

A revisão da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 2022) introduziu avanços significativos ao incorporar recomendações atualizadas sobre segurança, durabilidade e desempenho, além de promover maior integração entre projeto arquitetônico e cálculo estrutural. Essa diretriz reforça a necessidade de decisões projetuais antecipadas quanto aos tratamentos preservativos e às condições de exposição, favorecendo a vida útil das estruturas de madeira.

Nesse mesmo contexto, destaca-se também a Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC), conhecida internacionalmente como *Cross Laminated Timber* (CLT). Esse sistema construtivo é formado pela colagem cruzada de lamelas de madeira, unidas com adesivos estruturais de alto desempenho (Vilela; Mascia, 2021). A disposição em camadas perpendiculares (em número ímpar) resulta em um painel estrutural com boa resistência a deformações, alta rigidez e desempenho mecânico adequado a diversos usos arquitetônicos (Maidel, 2020), como ilustra a Figura 2. A produção dos painéis de MLCC costuma empregar madeiras de rápido crescimento, como *Pinus* e *Eucalipto*, e sua espessura varia conforme os requisitos estruturais do projeto.

Figura 2: Montagem do painel em MLCC (esquerda), painel montado (direita)



Fonte: Simpson (2019), adaptado pelo autor (2024)

Apesar das vantagens estruturais da MLCC, é importante compreender que sua eficiência não depende apenas da resistência dos materiais. Como argumenta Oliveira (2023), a avaliação do desempenho deve considerar o “rendimento global” da edificação, conceito que abrange não apenas os aspectos mecânicos, mas também fatores como facilidade de montagem, logística de transporte, integração entre os sistemas e o conforto ambiental proporcionado ao usuário. A correta articulação entre os elementos construtivos (mantas de isolamento, esquadrias, revestimentos e conectores) é determinante para assegurar a durabilidade, o desempenho térmico e a viabilidade técnica da edificação ao longo de sua vida útil. Assim, a eficiência da edificação depende da adequada articulação entre os diversos componentes técnicos, sendo o projeto arquitetônico o responsável por coordenar essa integração de forma coerente, precisa e racional. Portanto, a aplicação de MLC e MLCC requer mais do que o simples uso de materiais de alto desempenho: exige um olhar projetual atento, capaz de integrar os sistemas de forma coerente e eficiente. Nesse sentido, o papel do projeto arquitetônico ganha destaque como vetor fundamental para garantir a durabilidade e o sucesso construtivo das edificações em madeira engenheirada.

Projeto, durabilidade e detalhamento construtivo

O projeto arquitetônico representa um fator determinante para o desempenho e a viabilidade de uma edificação. As decisões tomadas durante sua concepção (relacionadas à forma, à organização dos ambientes e à escolha dos sistemas construtivos) influenciam diretamente a articulação entre os elementos da construção, suas condições de exposição e as estratégias necessárias para sua proteção. Em sistemas construtivos leves, como aqueles baseados em madeira engenheirada, essa influência torna-se ainda mais significativa, dada a sensibilidade do material a agentes externos e a sua interação com os demais componentes do edifício. A durabilidade, nesse contexto, não deve ser entendida como uma característica exclusiva do material utilizado, mas sim como o resultado de uma série de decisões projetuais que, quando bem coordenadas, reduzem os riscos de degradação. A forma da edificação, a disposição dos volumes, a orientação solar, o dimensionamento da cobertura e o tratamento adequado das interfaces são aspectos que podem contribuir para a exposição da madeira à umidade, aos agentes biológicos e às variações térmicas. Quando considerados desde as etapas iniciais do projeto, tais aspectos contribuem significativamente para a longevidade da edificação e para a prevenção de manifestações patológicas. O detalhamento construtivo, por sua vez, materializa as intenções projetuais, viabilizando sua execução de forma tecnicamente qualificada. De acordo com Silva et al. (2019), um dos entraves para a adoção da MLC e da MLCC como sistemas construtivos está na escassez de códigos técnicos compatíveis e na limitação de informações sobre o comportamento estrutural, as conexões e a resposta dos materiais frente à umidade. Oliveira (2018) enfatiza que o detalhamento não deve se restringir à proteção pontual da estrutura, mas deve incorporar soluções que assegurem a durabilidade do sistema. Para Milojević *et al.* (2023), é fundamental considerar ainda os condicionantes relacionados ao processo de fabricação, transporte e montagem das peças em madeira engenheirada, uma vez que esses fatores influenciam diretamente a viabilidade dos detalhes adotados. Nesse sentido, o detalhamento construtivo deve ser entendido como instância crítica de mediação entre projeto e execução. Ele define como os elementos se conectam, como são protegidos contra agentes externos e como respondem às solicitações do uso cotidiano. Quando articulado de forma integrada ao projeto, o detalhamento contribui para a durabilidade da edificação, reduz a incidência de falhas construtivas e otimiza o processo de montagem, promovendo a eficiência do sistema construtivo adotado.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com base em uma abordagem qualitativa e aplicada, estruturada em quatro etapas principais: (i) revisão de literatura, (ii) análise de catálogos técnicos, (iii) elaboração de projeto arquitetônico e (iv) desenvolvimento dos detalhes construtivos. O objetivo metodológico foi compreender, a partir de um caso aplicado, como o projeto arquitetônico pode atuar como orientador na definição de estratégias de detalhamento que favoreçam a durabilidade de edificações em madeira engenheirada.

Revisão de Literatura

A etapa inicial consistiu em um levantamento bibliográfico abrangente relacionado aos campos de sistemas construtivos em madeira engenheirada, abordando aspectos como conexões, ligações, detalhes construtivos, desempenho (durabilidade, manutenção e estanqueidade) e tecnologia dos materiais (propriedades, comportamento mecânico, manifestações patológicas, entre outros). A revisão foi realizada a partir da consulta a livros, teses, dissertações, artigos, manuais técnicos e normas regulamentadoras, englobando tanto fontes diretamente relacionadas ao objeto de estudo quanto materiais correlatos. Além disso, foram

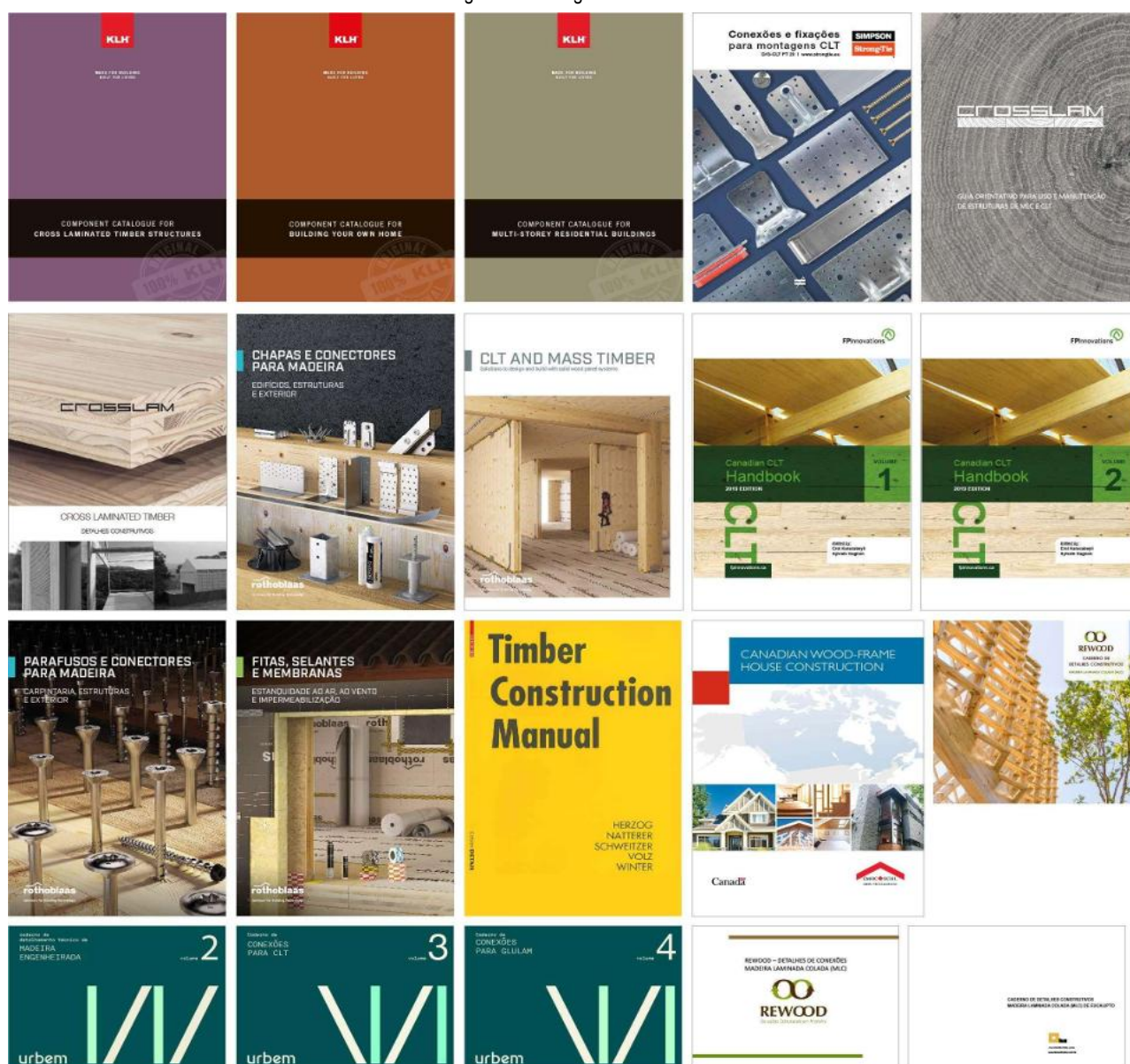
identificados e documentados detalhes construtivos genéricos recorrentes na bibliografia e nos projetos desenvolvidos por especialistas em estruturas de madeira.

Essa etapa permitiu a sistematização de um repertório técnico e conceitual capaz de subsidiar as fases posteriores da pesquisa, especialmente quanto à identificação de interfaces críticas e à compreensão dos desafios associados ao uso da madeira em sistemas construtivos contemporâneos.

Análise de Catálogos Técnicos

Após a revisão bibliográfica, procedeu-se ao estudo de catálogos e manuais de empresas nacionais e internacionais no setor de construção com madeira engenheirada, tanto com MLCC quanto com MLC. Os catálogos analisados, representados na Figura 3, possibilitaram um entendimento das práticas correntes no mercado, subsidiando o aprofundamento técnico necessário para as etapas posteriores da pesquisa.

Figura 3: Catálogos analisados.



Fonte: KLH (2019a, 2019b, 2012), Simpson (2019), Crosslam (2016, 2021), Urbem (2022a, 2022b, 2022c), ITA (2019), Rothoblaas (2017, 2020a, 2020b, 2021), Karacabeyli e Gagnon (2019), Herzog *et al.* (2004), CMHC (2013), Rewood (2020, 2018).

O objetivo dessa análise foi investigar e compreender as diretrizes práticas recomendadas para soluções de conexões, controle da umidade, interfaces com outros materiais e sistemas construtivos. A partir dessa leitura foi possível identificar padrões, recorrências e lacunas nos detalhes oferecidos pelas empresas do setor, o que contribuiu diretamente para a formação de um repertório técnico sólido e aplicável à prática projetual.

Esse material analisado não apenas subsidiou o entendimento técnico do comportamento dos sistemas em madeira engenheirada, como também ofereceu subsídios importantes para a etapa seguinte da pesquisa: a elaboração do projeto arquitetônico.

Elaboração do Projeto Arquitetônico

A terceira etapa foi a elaboração do projeto arquitetônico da edificação, que desempenhou um papel fundamental na definição dos detalhes construtivos críticos a serem trabalhados. O projeto foi desenvolvido com base nas diretrizes da PORTARIA MCID Nº 725, de 15 de junho de 2023 (BRASIL, 2023), que estabelece parâmetros mínimos para unidades habitacionais no Programa Minha Casa, Minha Vida. Embora tenha servido como referência, o projeto ultrapassou as exigências mínimas previstas para Habitação de Interesse Social (HIS), buscando atender a critérios de habitabilidade, eficiência construtiva e racionalidade produtiva, adequados à realidade da madeira engenheirada.

A concepção arquitetônica não se restringiu à estética formal, como na prática convencional, mas partiu do dimensionamento e das características técnicas dos elementos em MLC e MLCC. Foram considerados fatores como capacidade produtiva, logística de transporte e montagem e necessidade de insumos complementares (conectores metálicos e sistemas de fixação).

Esse processo de projeto foi essencial para:

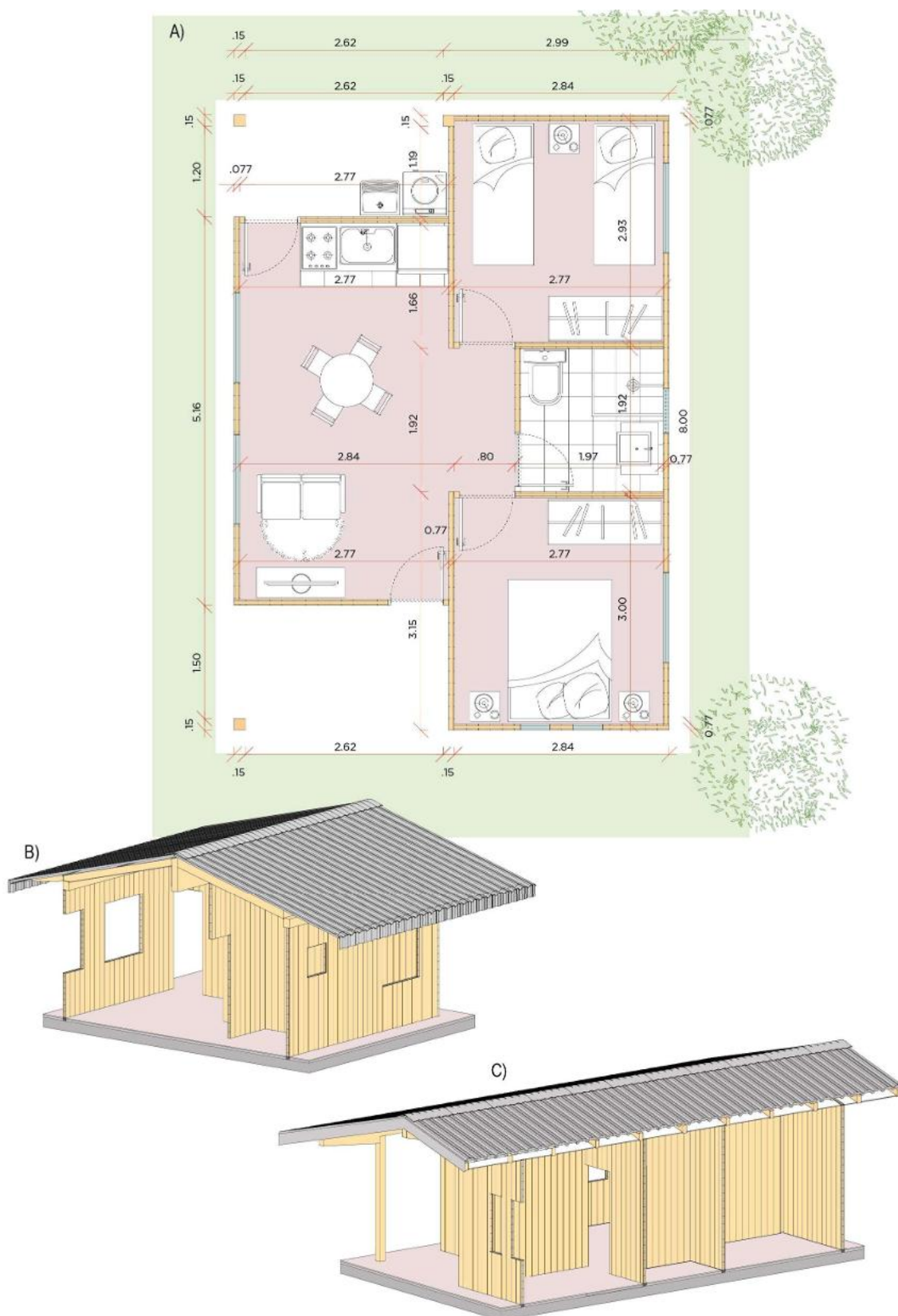
- Visualizar e identificar as interfaces críticas que poderiam comprometer a durabilidade e o desempenho da edificação;
- Determinar quais detalhes construtivos deveriam ser desenvolvidos e protegidos de forma específica;
- Direcionar a categorização dos detalhes, baseada nas necessidades práticas e construtivas reais do edifício.

Para este exemplo, a modelagem tridimensional foi realizada nos softwares SketchUp® e AutoCAD®, permitindo a precisão nas relações geométricas entre os componentes e a antecipação dos desafios de execução. As dimensões dos ambientes foram ajustadas para maximizar a eficiência do uso dos painéis de MLCC, otimizando cortes e transportes. Nesse processo, considerou-se a organização de uma unidade habitacional compacta com os seguintes ambientes e áreas:

- Sala e Cozinha Integradas: 13,9 m²
- Dormitório 1 (Casal): 8,3 m²
- Dormitório 2: 8,1 m²
- Banheiro: 3,6 m²
- Área de Serviço: 3,3 m²
- Área total: aprox. 42 m²

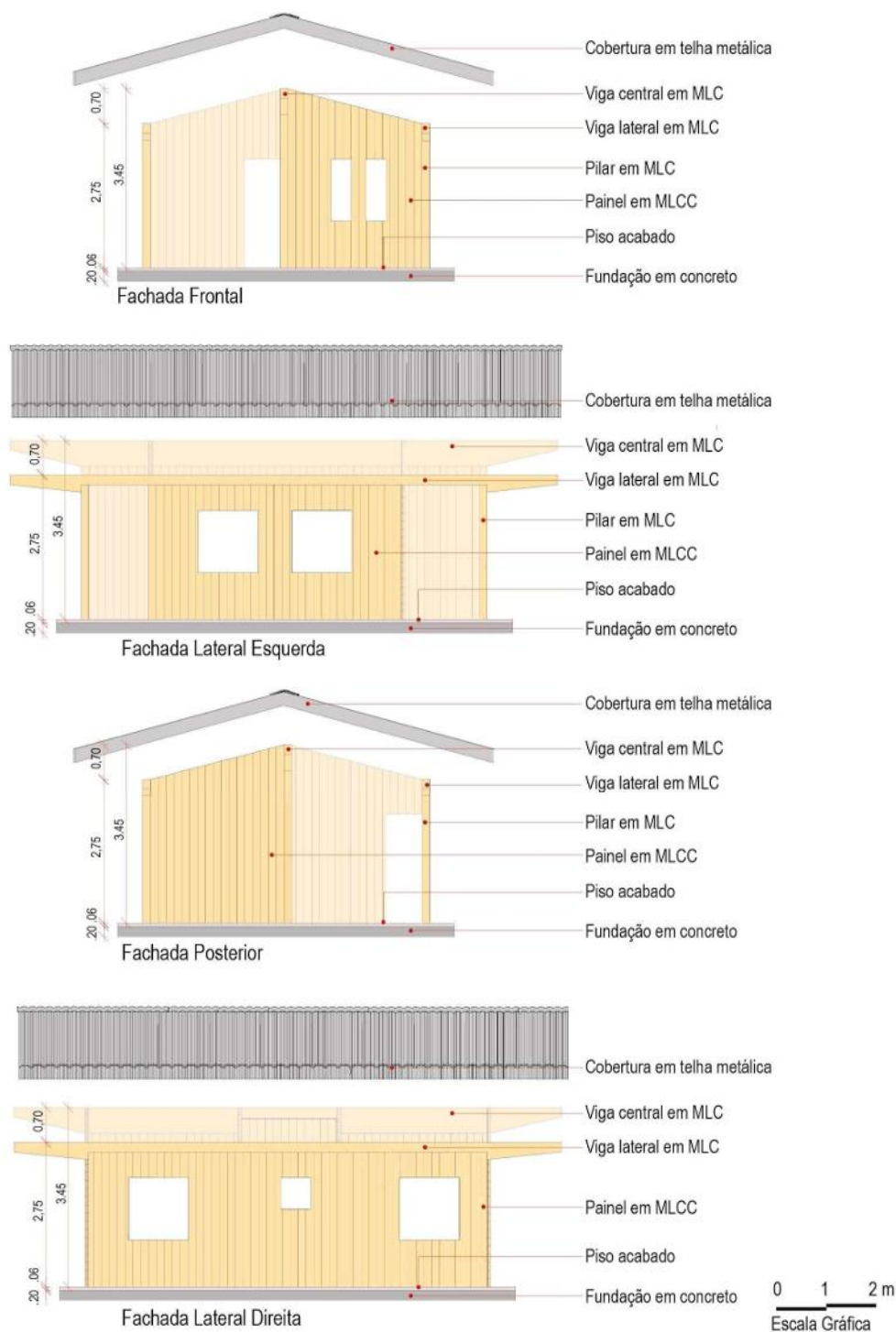
O projeto arquitetônico da edificação, bem como os demais materiais técnicos e gráficos que o compõem podem ser conferidos nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: A) Planta baixa (escala 1:70); B) Corte transversal; C) Corte longitudinal da edificação desenvolvida



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Figura 5: Elevações da edificação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Além disso, o projeto contemplou a possibilidade de expansões futuras, com a manutenção estratégica de um pilar interno em MLC associado às paredes de MLCC, permitindo ampliações sem comprometimento da estabilidade estrutural. A lógica projetual adotada garantiu não apenas a viabilidade técnica e econômica da construção, mas também favoreceu a durabilidade, a adaptabilidade e o desempenho global da edificação.

Desenvolvimento e Categorização dos Detalhes Construtivos

Com base na estrutura física definida pelo projeto arquitetônico, foram desenvolvidos e categorizados os detalhes construtivos, considerando as interfaces mais críticas observadas. Essa categorização serviu de base para a organização dos Detalhes Técnicos, permitindo uma sequência lógica e prática.

As categorias de detalhamento desenvolvidas foram:

- *Detalhe entre painel MLCC e Pilar MLC com a fundação*: essencial para garantir a estabilidade global e evitar problemas relacionados à umidade e falhas estruturais.
- *Detalhamento entre elementos do mesmo sistema – painel MLCC com painel MLCC e pilar com viga em MLC*: fundamental para assegurar a continuidade estrutural e impedir a infiltração de umidade.
- *Detalhamento entre elementos de sistemas diferentes – elementos em MLCC com estruturas em MLC*: importante para compatibilizar o comportamento higroscópico dos materiais e proteger as junções contra infiltrações.
- *Detalhamento da cobertura da edificação*: visando a proteção contra intempéries e a longevidade dos elementos de madeira.
- *Detalhamento para as esquadrias nos painéis em MLCC*: garantindo estanqueidade e desempenho térmico da edificação.
- *Detalhamento de área molhada*: protegendo os componentes de madeira contra o contato prolongado com a umidade.

A categorização possibilitou uma abordagem sistemática e prática, orientada por critérios técnicos, funcionais e construtivos. Cada solução foi pensada a partir da integração entre desempenho, viabilidade executiva e proteção da madeira contra agentes de degradação.

Com a categorização dos principais pontos críticos definida, o trabalho pôde avançar para a representação gráfica das soluções propostas.

Condicionantes da proposta projetual

Cabe destacar que as soluções desenvolvidas estão vinculadas ao contexto específico da pesquisa, representado por uma habitação unifamiliar térrea de pequeno porte concebida segundo princípios de modulação, racionalização construtiva e pré-fabricação. Dessa forma, os detalhes elaborados refletem as condições estruturais, funcionais e logísticas associadas a esse tipo de edificação, servindo como base para a discussão de estratégias de durabilidade aplicáveis à madeira engenheirada.

As soluções apresentadas foram desenvolvidas para uma implantação simplificada em terreno regular, podendo demandar adaptações em situações de maior complexidade topográfica ou geotécnica.

Embora diversos princípios adotados, tais como o controle da umidade, a proteção das interfaces construtivas, a utilização de barreiras de estanqueidade e o afastamento dos elementos de madeira em relação a potenciais fontes de degradação, possam ser empregados em diferentes tipologias construtivas, a transposição direta dessas soluções para edificações multifamiliares, construções de múltiplos pavimentos ou empreendimentos de maior complexidade pode demandar adaptações decorrentes de requisitos estruturais, condicionantes logísticos, exigências normativas específicas e particularidades do processo construtivo.

Além disso, a proposta considerou um cenário compatível com processos de pré-fabricação, transporte e montagem dos componentes em madeira engenheirada, fatores que podem variar conforme a escala do empreendimento, as condições regionais e o grau de desenvolvimento da cadeia produtiva local.

Adicionalmente, a viabilidade econômica das soluções propostas está diretamente relacionada ao grau de desenvolvimento da cadeia produtiva da madeira engenheirada, à disponibilidade regional de fornecedores, à existência de mão de obra especializada e à escala do empreendimento. Dessa forma, embora a racionalização construtiva e a pré-fabricação possam contribuir para a redução de desperdícios e para a eficiência do processo executivo, os custos de implementação podem variar significativamente em função das condições produtivas e logísticas de cada contexto.

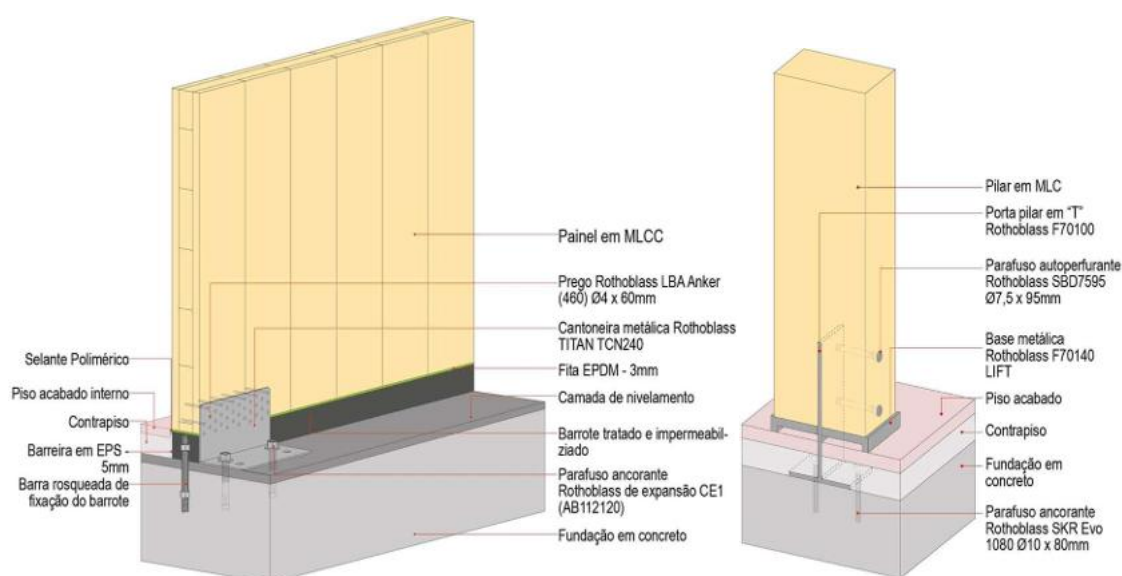
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os detalhes construtivos elaborados com base nas diretrizes definidas durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico. Cada solução gráfica reflete a interação direta entre concepção espacial, sistemas estruturais e exigências técnicas identificadas ao longo do processo projetual. Longe de serem elementos isolados, os detalhes aqui demonstrados foram concebidos a partir das necessidades reais observadas na edificação, considerando aspectos como encaixes, transições de materiais, pontos de exposição à umidade e interfaces críticas.

Detalhe entre painel MLCC e pilar MLC com a fundação

A interface entre painel de vedação em MLCC e pilar em MLC com a fundação de concreto (Figura 6) representa um ponto crítico do ponto de vista da durabilidade, principalmente em relação à proteção contra a umidade ascendente. A solução adotada partiu de diretrizes estabelecidas no partido arquitetônico, que previu a montagem direta dos elementos estruturais sobre fundação do tipo radier, com afastamento em relação ao piso acabado, considerando tanto os esforços estruturais quanto os agentes de degradação provenientes da umidade.

Figura 6: Detalhamento entre painel MLCC (esquerda) e o pilar em MLC (direita) com a fundação em concreto



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O afastamento entre o painel e o contrapiso final, previsto desde o partido arquitetônico, viabilizou a inclusão de uma barreira física (EPS de 5 mm) e o uso de selante polimérico, funcionando como elementos de proteção contra infiltrações acidentais e o acúmulo de umidade por capilaridade. A solução contribui também para a independência entre os sistemas de piso e de vedação, permitindo movimentações diferenciais sem comprometer a integridade do painel.

Além disso, a ancoragem mecânica por meio de cantoneiras metálicas e parafusos específicos garante a fixação segura do painel, ao mesmo tempo que respeita o caráter modular da estrutura. A introdução de materiais de interface, como a fita EPDM (Etileno-Propileno-Dieno Monômero) e a camada de nivelamento sob o barrote tratado, foi pensada para proteger os elementos de madeira da umidade ascendente e aumentar sua vida útil, reforçando os princípios de durabilidade estabelecidos como diretriz central do projeto.

O detalhe de fixação do pilar em MLC sobre a fundação de concreto (Figura 6, direita) reflete as diretrizes que priorizaram a racionalização construtiva e a antecipação das estratégias para garantir a durabilidade estrutural da edificação. Desde o desenvolvimento do partido arquitetônico, previu-se a adoção de pilares como elementos de suporte estrutural e articuladores da possibilidade de futuras expansões da edificação, exigindo, portanto, soluções que combinassem resistência, adaptabilidade e proteção contra agentes de degradação.

A utilização da base metálica elevada e do Porta Pilar em "T" foi definida para promover o afastamento da madeira em relação ao contrapiso e à fundação, evitando o contato direto com superfícies potencialmente

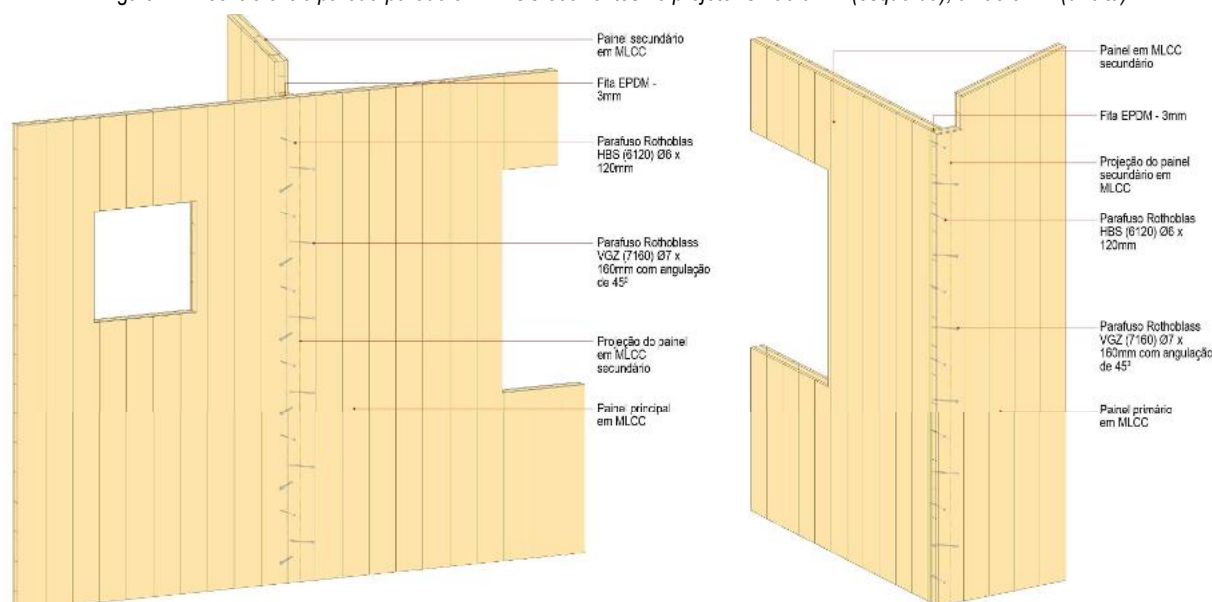
úmidas e minimizando os riscos de deterioração por capilaridade. Este afastamento, aliado ao sistema de fixação com parafusos autoperfurantes de alta resistência, proporciona estabilidade mecânica ao pilar e facilita a dissipação de eventuais tensões.

Dessa forma, os detalhes evidenciam a preocupação do projeto arquitetônico em integrar soluções técnicas que favoreçam tanto o desempenho estrutural quanto a durabilidade da madeira engenheirada, assegurando a eficiência e a longevidade do sistema construtivo adotado.

Detalhamento entre elementos do mesmo sistema – painel MLCC com painel MLCC

As conexões entre elementos do mesmo sistema construtivo, neste caso os painéis de MLCC utilizados como vedação e estrutura, representam um ponto essencial para garantir a continuidade mecânica, a estanqueidade e a durabilidade da edificação. As soluções desenvolvidas contemplaram dois tipos principais de junções em "T" e em "L" cujas configurações foram determinadas a partir do partido arquitetônico e da lógica modular adotada no projeto, limitando recortes e adaptações em obra. Essa estratégia buscou maximizar o aproveitamento das dimensões padrão dos painéis de MLCC, reduzindo perdas de material e otimizando o processo de montagem, aspectos fundamentais para a viabilidade econômica da construção em madeira engenheirada. Na Figura 7, é possível observar as configurações trabalhadas e as soluções adotadas.

Figura 7: Encontro entre parede-parede em MLCC ocorrentes no projeto. União em T (esquerda), união em L (direita)



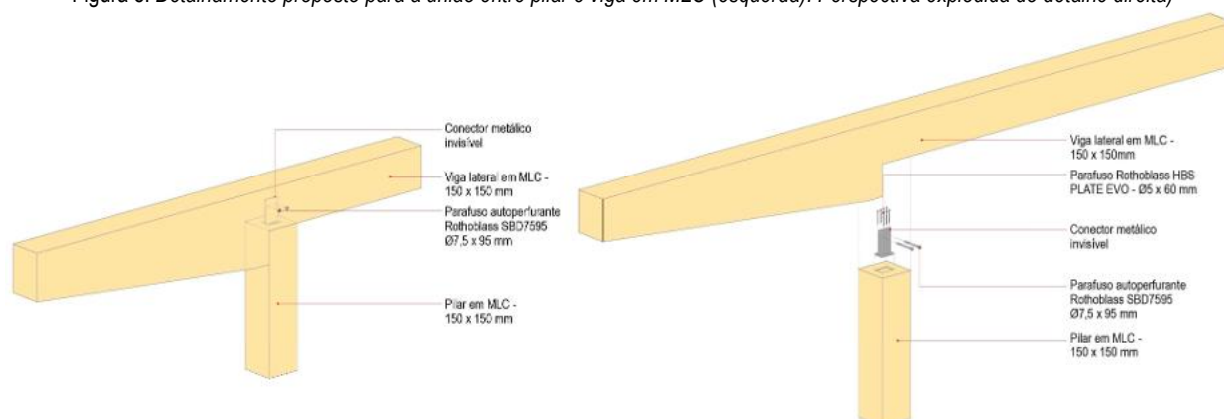
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A definição das junções em "T" e "L" atendeu, portanto, não apenas a necessidades formais e funcionais do projeto, como a organização espacial dos ambientes e a necessidade de articulação entre diferentes volumes, mas também permitiu uma execução mais racionalizada, com sistemas de conexão simples e eficientes.

O uso de parafusos de alta *performance* (HBS e VGZ) aplicados estrategicamente em ângulos retos e inclinados assegura a resistência mecânica das ligações e confere estabilidade ao conjunto. A inclusão de fita/guarnição de EPDM nas interfaces entre painéis atua como junta de vedação comprimida, reduzindo a entrada de água e ar e acomodando pequenas variações dimensionais decorrentes de movimentações dos elementos, o que contribui para a durabilidade do sistema.

O detalhamento das conexões entre pilar e viga em MLC, apresentado na Figura 8, evidencia uma solução técnica que prioriza a rigidez da união, a proteção dos elementos estruturais e a eficiência no processo construtivo. O uso de conectores metálicos embutidos, associados a parafusos autoperfurantes, permite uma conexão firme entre os componentes sem criar descontinuidades críticas ou zonas suscetíveis à umidade, o que contribui para a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

Figura 8: Detalhamento proposto para a união entre pilar e viga em MLC (esquerda). Perspectiva explodida do detalhe direita)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

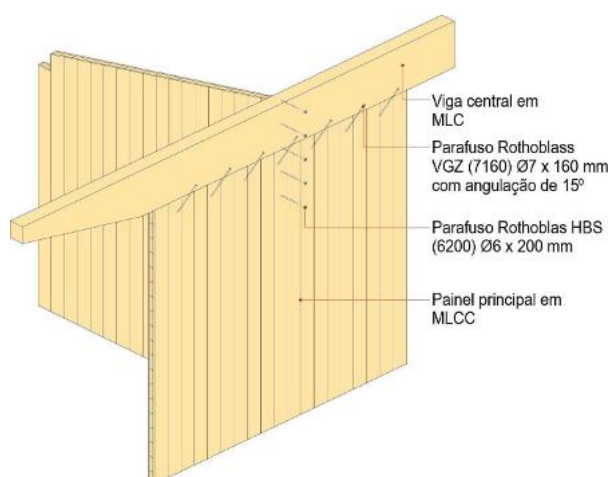
A definição deste sistema de fixação foi orientada por decisões tomadas ainda na etapa de projeto arquitetônico, que buscou compatibilizar a repetição modular dos elementos estruturais com a agilidade na montagem. O uso de peças padronizadas e de fácil instalação também permite maior controle de qualidade em obra e reduz a dependência de ajustes manuais, minimizando falhas de execução.

Além de contribuir para o desempenho estrutural, esse tipo de conexão favorece a manutenção da integridade dos elementos em MLC ao evitar esforços concentrados e promover uma distribuição equilibrada das cargas. Trata-se, portanto, de uma escolha técnica coerente com os princípios de racionalidade, precisão e durabilidade que nortearam a concepção do edifício.

Detalhamento entre elementos de sistemas diferentes – elementos em MLCC com estruturas em MLC

O detalhamento apresentado na Figura 9 trata da interface entre dois sistemas distintos: o painel de vedação em MLCC e a viga estrutural em MLC. Tal qual o detalhamento anterior, a solução adotada para as interfaces entre os sistemas diferentes (MLCC e MLC) envolve o uso combinado de parafusos perpendiculares (HBS) e inclinados (VGZ a 15°), permitindo uma conexão firme, estável e com distribuição eficiente dos esforços. Essa configuração contribui para a durabilidade da edificação ao garantir uma fixação segura sem recorrer a elementos metálicos aparentes ou sobrepostos, reduzindo pontos potenciais de umidade ou corrosão.

Figura 9: Detalhamento entre painel MLCC e uma viga em MLC



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

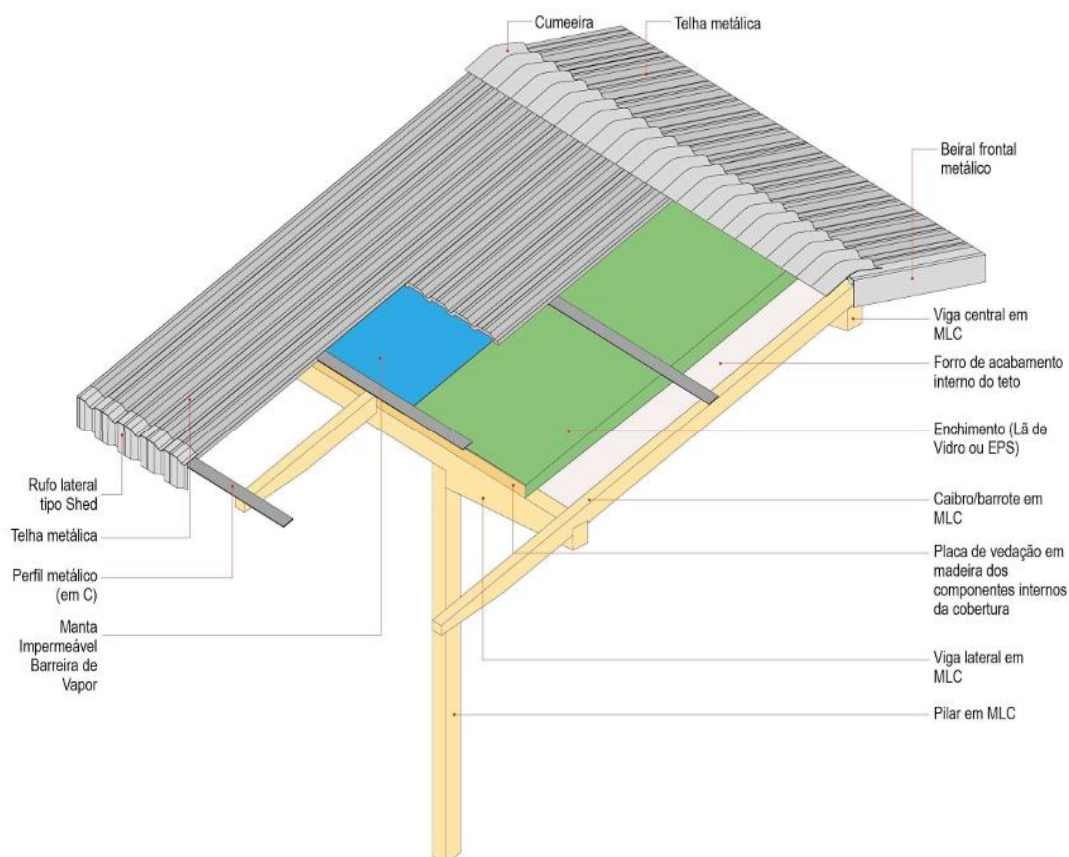
As definições adotadas foram diretamente condicionadas pelo projeto arquitetônico, que previu uma estrutura leve e racionalizada, sem solicitações excessivas que exigissem sistemas de ancoragem robustos. Tal escolha permitiu o emprego de soluções otimizadas, compatíveis com o sistema modular e com a lógica de pré-fabricação dos componentes. Além disso, o uso de parafusos inclinados facilita a montagem em obra,

especialmente quando os elementos chegam prontos ou sem a necessidade de cortes adicionais. Essa solução reforça a lógica de racionalização adotada em todo o projeto, valorizando a precisão do sistema industrializado e contribuindo para a proteção e longevidade dos elementos de madeira.

Detalhamento da cobertura da edificação

O detalhamento da cobertura, apresentado na Figura 10, adota telhas metálicas como solução final de proteção, organizadas sobre uma sequência de camadas técnicas que inclui perfis metálicos estruturais, manta impermeável (barreira de vapor), material isolante (como EPS ou lã de vidro), vedação interna e forro de acabamento. Essa composição em camadas foi definida com base no partido arquitetônico, priorizando soluções leves e racionais, compatíveis com a estrutura em madeira engenheirada e com a lógica de modulação da edificação.

Figura 10: Perspectiva em camadas demonstrando a composição da cobertura da edificação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A escolha pela telha metálica está associada à busca por agilidade de montagem, redução de peso próprio e viabilidade econômica. No entanto, o sistema foi projetado para permitir a substituição das telhas metálicas por outros tipos de cobertura, como painéis termoacústicos ou telhas cerâmicas, mantendo a mesma lógica de proteção e desempenho técnico, com ajustes pontuais na fixação em decorrência do tipo de material isolante, mas sem prejuízo das demais camadas técnicas. Essa flexibilidade técnica reforça a compatibilidade entre concepção arquitetônica e desempenho físico, assegurando durabilidade e eficiência ao sistema de cobertura.

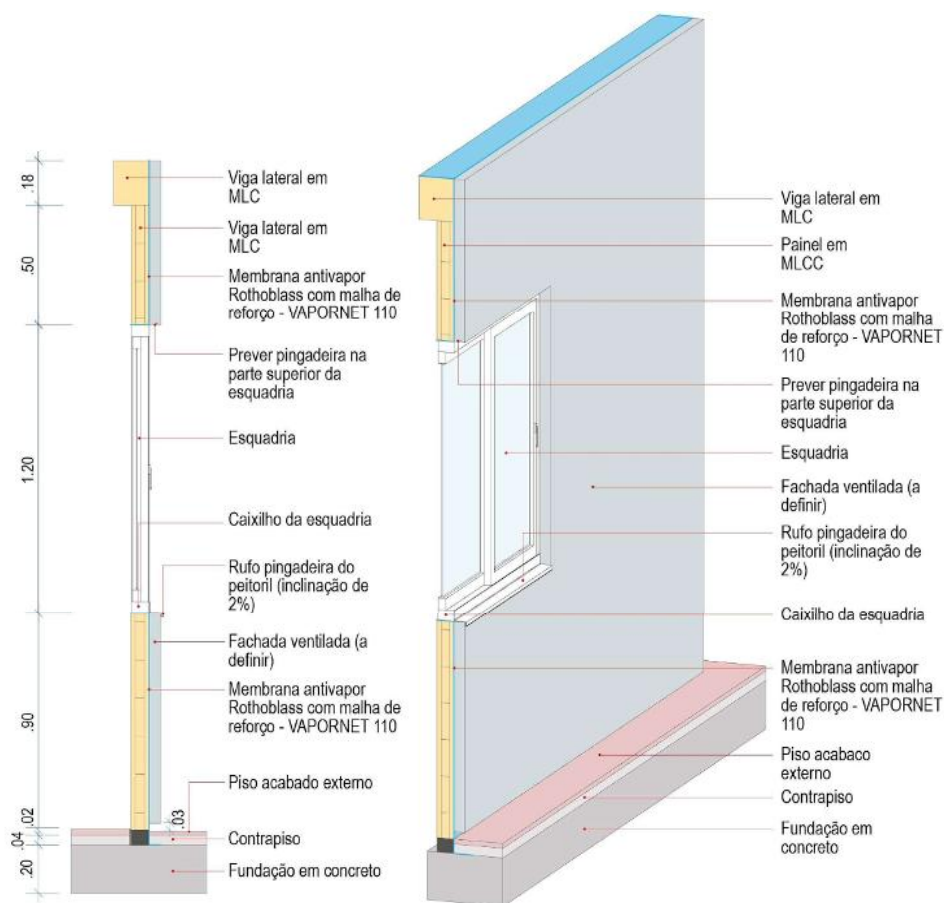
Do ponto de vista da durabilidade, o detalhe garante uma resposta eficiente às principais exigências da cobertura: estanqueidade, isolamento térmico, controle de umidade e proteção dos elementos estruturais em madeira. A sobreposição das camadas impede a entrada de água e vapor d'água nos componentes internos, prolongando a vida útil dos caibros e vigas em MLC. Além disso, o sistema inclui elementos de proteção como rufo, cumeeira e beirais metálicos, que atuam no controle do escoamento das águas pluviais e na redução de riscos de infiltração nas interfaces críticas da cobertura.

Detalhamento para as esquadrias nos painéis em MLCC

As aberturas para esquadrias em painéis de MLCC constituem interfaces particularmente sensíveis do ponto de vista da durabilidade, pois combinam descontinuidades geométricas com elevada exposição à umidade proveniente da chuva e da condensação. O detalhamento dessas interfaces, portanto, deve assegurar estanqueidade, desempenho térmico e proteção da madeira contra a degradação precoce.

Na Figura 11 é apresentado o detalhamento que trata da inserção de esquadrias nos painéis em MLCC. A solução desenvolvida contemplou uma sequência de camadas técnicas, incluindo membrana antivapor com malha de reforço, rufos metálicos com pingadeiras inclinadas, e encaixe preciso do caixilho dentro da abertura previamente definida no painel. Essas camadas atuam de forma complementar na condução da água para fora do sistema e na proteção dos elementos em madeira, evitando o contato direto com a umidade e prevenindo manifestações como apodrecimento, empenamento e perda de desempenho estrutural. Além disso, a previsão de pingadeiras superiores e inferiores ajuda a conduzir a água para fora do sistema, evitando o acúmulo nos pontos de junção entre os materiais.

Figura 11: Detalhamento de painel MLCC com esquadria. Vista em corte (esquerda), perspectiva (direita)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A antecipação do posicionamento e dimensionamento das esquadrias durante a fase de projeto arquitetônico permitiu a pré-modulação dos painéis, favorecendo o corte industrializado com precisão e a compatibilização dos caixilhos. Essa abordagem reduziu a necessidade de ajustes em obra, elevando a qualidade de execução e garantindo o desempenho esperado para a envoltória da edificação.

Assim, o detalhamento das esquadrias evidencia a importância da integração entre projeto e técnica, demonstrando como decisões projetuais bem fundamentadas podem resultar em soluções eficientes, duráveis e compatíveis com a lógica da construção em madeira engenheirada

Detalhamento de área molhada e molhável

A Figura 10 apresenta o detalhamento adotado para o banheiro, considerando duas condições distintas de exposição: área molhada, restrita ao box (região com formação recorrente de lâmina d'água), e áreas molháveis, correspondentes às superfícies externas ao box, sujeitas a respingos e umidade intermitente. O objetivo é isolar a estrutura em MLCC e garantir estanqueidade, durabilidade e facilidade de manutenção. Logo, projeto exigiu uma configuração de camadas que garantisse o isolamento da estrutura em MLCC, protegendo-a contra infiltrações e degradação precoce.

Nas paredes em MLCC há o revestimento com um conjunto de elementos técnicos: membrana antivapor com malha de reforço (VAPORNET 110), placa cimentícia de 12 mm e acabamento com placa cerâmica ou porcelanato. Essa composição impede que o vapor ou a água proveniente do uso diário penetrem na madeira, garantindo a estanqueidade da parede. O uso da placa cimentícia como substrato inerte à umidade desempenha papel fundamental nesse sistema de proteção.

No piso, a solução adotada envolve a aplicação de barreiras físicas que impedem o contato direto entre o contrapiso e os elementos estruturais em madeira. A camada de EPS com 5 mm de espessura, associada à fita EPDM, atua como isolante e contribui para a proteção do painel. Essa composição em camadas com funções específicas protege a base dos painéis contra a umidade ascendente e desempenha um papel fundamental na preservação da estrutura, contribuindo diretamente para a durabilidade da edificação.

Figura 12: Detalhamento em corte do banheiro (área molhada). Vista em corte (esquerda), perspectiva em camada (direita)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A definição desse detalhamento foi orientada ainda na fase de projeto arquitetônico, que previu a localização e a função de cada ambiente, permitindo o dimensionamento correto das soluções técnicas para áreas com diferentes níveis de exposição à umidade. Ao antecipar essas necessidades, o projeto garantiu a compatibilização entre desempenho e viabilidade construtiva, assegurando longevidade ao sistema em madeira engenheirada mesmo em ambientes críticos como os banheiros.

A análise dos detalhes construtivos desenvolvidos evidencia como a durabilidade da edificação em madeira engenheirada está diretamente relacionada à forma como o projeto arquitetônico antecipa e organiza as soluções técnicas. Cada decisão projetual desde a modulação dos painéis até a definição das interfaces entre sistemas orienta a elaboração de estratégias que atuam na proteção dos componentes contra agentes de degradação, nesse caso, em especial, a umidade. Ao integrar aspectos estruturais, funcionais e executivos desde as primeiras etapas, o projeto atua não apenas como ponto de partida, mas como instrumento fundamental para garantir a eficiência, a racionalidade e a vida útil do sistema construtivo adotado.

Além dos aspectos técnicos relacionados à durabilidade, a aplicação das estratégias de detalhamento propostas também está associada a condicionantes econômicos e produtivos. Embora a presente pesquisa não tenha contemplado uma avaliação de custos, reconhece-se que a adoção de sistemas em madeira engenheirada ainda enfrenta desafios relacionados aos custos iniciais de implantação e ao estágio de desenvolvimento da cadeia produtiva nacional. Por outro lado, características inerentes à construção industrializada, como a pré-fabricação dos componentes, a racionalização construtiva, a redução de desperdícios e a agilidade de montagem, são frequentemente apontadas como fatores capazes de contribuir para ganhos de eficiência ao longo do processo construtivo.

Sob outra perspectiva, as estratégias de detalhamento discutidas neste trabalho podem apresentar reflexos econômicos indiretos ao favorecer a proteção dos elementos de madeira contra agentes de degradação. A redução da incidência de manifestações patológicas, a diminuição da necessidade de intervenções corretivas e a ampliação da vida útil dos componentes tendem a contribuir para menores custos de manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação. Dessa forma, a viabilidade das soluções propostas não deve ser analisada apenas sob a ótica do investimento inicial, mas também considerando seus potenciais impactos sobre o desempenho e a durabilidade da construção ao longo do tempo. Além dos aspectos técnicos discutidos, a aplicação das soluções propostas também depende das condições econômicas, produtivas e logísticas disponíveis em cada contexto de implantação.

É importante destacar que o produto central deste trabalho foi a organização de um Catálogo de Detalhes Construtivos para sistemas em MLC e MLCC, com diretrizes por interface e requisitos de desempenho. Este artigo traz uma amostra desses detalhes para exemplificar a abordagem do projeto enquanto precursor metodológico. O material completo pode ser acessado em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-16042025-102008/publico/MEEltonBelarminodeSousa_Rev.pdf

5 CONCLUSÃO

As análises desenvolvidas ao longo deste trabalho demonstram que a durabilidade de edificações em madeira engenheirada está diretamente relacionada à qualidade do projeto arquitetônico e à sua capacidade de antecipar, integrar e articular soluções técnicas coerentes com as exigências do sistema construtivo. Longe de atuar como um componente meramente formal, o projeto foi fundamental para identificar interfaces críticas, direcionar os esforços de detalhamento e estabelecer uma base sólida para decisões que impactam diretamente no desempenho da edificação ao longo do tempo.

A adoção de uma lógica racionalizada favoreceu a compatibilidade entre elementos estruturais e de vedação, permitindo a padronização de componentes, o melhor aproveitamento dos materiais e a redução de desperdícios. Essa abordagem favoreceu a clareza nas transições entre sistemas iguais e distintos, assegurando continuidade estrutural, estanqueidade e proteção contra umidade, principal agente de degradação da madeira.

Os detalhes construtivos desenvolvidos revelaram a importância de estratégias voltadas à proteção da madeira contra agentes de degradação, especialmente a umidade. A utilização de membranas, placas cimentícias, elementos de separação, rufos e selantes em pontos específicos mostra que a durabilidade não é um atributo isolado dos materiais, mas o resultado de um conjunto de decisões bem coordenadas desde a concepção do projeto até a execução.

Conclui-se, portanto, que a integração entre arquitetura e desempenho técnico é fundamental para a viabilidade de construções com madeira engenheirada. O detalhamento, quando orientado por um projeto consciente das exigências do sistema e das condições de exposição, torna-se um instrumento de mediação eficaz entre intenção projetual e realidade construtiva, contribuindo para edificações mais duráveis, eficientes e sustentáveis. Embora as soluções apresentadas tenham sido desenvolvidas a partir de uma habitação unifamiliar térrea, sua definição foi orientada por critérios relacionados à capacidade produtiva das empresas consultadas, à logística de transporte e montagem dos elementos e aos princípios de modulação e racionalização construtiva adotados no projeto. Nesse sentido, os detalhes propostos não estão vinculados a uma condição específica de terreno ou localidade, podendo ser adaptados a diferentes contextos de implantação, desde que observadas as particularidades de cada situação. Em relação aos aspectos econômicos, destaca-se que os conectores e sistemas apresentados representam uma lógica construtiva amplamente empregada pelo setor, sendo comum a fabricação local de componentes equivalentes, o que contribui para a viabilidade técnica e econômica das soluções. Da mesma forma, embora o estudo tenha sido desenvolvido a partir de uma edificação térrea, diversas interfaces analisadas, como fundações, ligações

entre painéis e tratamentos para áreas molhadas, podem ser aplicadas em edificações de maior porte, desde que compatibilizadas com as exigências estruturais específicas de cada sistema.

Assim, entende-se que a principal contribuição deste trabalho não reside apenas nas soluções de detalhamento apresentadas, mas na demonstração de como o projeto arquitetônico pode atuar como elemento estruturador na definição de estratégias voltadas à durabilidade da madeira engenheirada em diferentes contextos de aplicação.

Além disso, a disseminação da madeira engenheirada no contexto brasileiro ainda depende de fatores como o fortalecimento da cadeia produtiva nacional, a ampliação da mão de obra especializada e o desenvolvimento de soluções compatíveis com diferentes condições climáticas e construtivas. Nesse sentido, a efetividade das estratégias apresentadas está associada à integração entre projeto, indústria, execução e manutenção ao longo da vida útil da edificação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88887.160393/2025-00.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-7: Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

BRASIL. **Portaria MCID nº 725, de 15 de junho de 2023**. Estabelece parâmetros para empreendimentos habitacionais e outras disposições. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/arquivos-1/ANEXOIPortariaMCidadesn.725de15dejunhode2023.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2025.

CALIL, C. N. **Madeira Laminada Colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo**. 2011, 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2011.

CMHC – Canada Mortgage and Housing Corporation. **Canadian Wood-Frame house construction**. 3. Ed. CMHC: Canadá, 2013.

CROSSLAM. **Cross Laminated Timber: Detalhes Construtivos**. Crosslam: São Paulo, 2021.

CROSSLAM. **Guia orientativo para uso e manutenção de estruturas de MLC e CLT**. Crosslam: São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.crosslam.com.br/home/?q=downloads>>. Acesso em: 13 maio. 2025.

HERZOG, T.; NATTERER, J.; SCHWEITZER, R.; VOLZ, M.; WINTER, W. **Timber Construction Manual**. Detail: Munich, 2004.

ITA Construtora. **Caderno de Detalhes Construtivos Madeira Laminada Colada (MLC) de Eucalipto**. Vargem Grande Paulista: ITA Construtora, 2019.

KARACABEYLI, E.; GAGNON, S. **Canadian CLT Handbook, 2019 Edition, vol. 1 e 2**, Pointe-Clare: FPInnovations, 2019.

KAWECKI, B.; PODGÓRSKI, J. Numerical Analysis and Its Laboratory Verification in Bending Test of Glue Laminated Timber Pre-Cracked Beam. **Materials**, v. 1, n.12, p. 955-969, 2019.

KLH Massivholz GMBH. **Component Catalogue for Building Your Own Home**. KLH: Áustria, 2019b.

KLH Massivholz GMBH. **Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures**. KLH: Áustria, 2019a.

KLH Massivholz GMBH. **Component Catalogue for Multi-storey Residential Buildings**. KLH: Áustria, 2012.

LUCENA, R.; TEREZO R., VALLE, A., RIGHEZ, J., MOTTA, G. Confecção e análise de rigidez de painéis de madeira lamelada colada cruzada de Pinus taeda. **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n. 1, 2019.

LUZ, A. B.; GONÇALVES, J. H. D.; ROMERA, G. F. S.; HASSE, F. K.; SOUZA, L. A. F.; VANALLI, L. Aplicação da madeira laminada colada (MLC) como vigas de pontes: uma análise sob o olhar do projeto de revisão da NBR 7190/1997. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 59283–59306, 2020.

MAIDEL, B. **Avaliação do ciclo de vida de edificações verticais: estudo comparativo entre CLT (Cross Laminated Timber), e alvenarias convencionais a partir do projeto em BIM**. 2020, 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2020.

MIGLIANI, A. **O que é Madeira Laminada Colada (MLC ou Glulam)?** 2019. ArchDaily Brasil. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam>>. Acessado 24 abr. 2026.

- MILOJEVIĆ, M.; RACIC, V.; MARJANOVIĆ, M.; NEFOVSKA-DANILOVIĆ, M. Influence of inter-panel connections on vibration response of CLT floors due to pedestrian-induced loading. **Engineering Structures**, v. 277, p. 1-13, 2023.
- OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho**. Recomendações para o processo do projeto arquitetônico. 2018, 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- OLIVEIRA, G. L. **Estruturas de madeira engenheirada: a concepção arquitetônica orientada a racionalização do processo construtivo**. 2023, 252. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.
- REWOOD. **Caderno de Detalhes Construtivos: Madeira Lamelada Colada (MLC)**. Rewood: São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://rewood.com.br/materiais>>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- REWOOD. **Detalhes de conexões madeira laminada colada (MLC)**. Rewood: São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://rewood.com.br/wp-content/uploads/2018/08/detalhes-de-conexoes-rewood.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- ROTHOBLAAS. **Chapas e conectores para madeira**: Edifícios, estruturas e exterior. Rothoblaas PT: Curitiba, 2020a. Disponível em: <<https://www.rothoblaas.pt/catalogos-rothoblaas>>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- ROTHOBLAAS. **CLT and mass timber**: Solutions to design and build with solid wood panel systems. Rothoblaas PT: Curitiba, 2017. Disponível em: <<https://www.rothoblaas.pt/catalogos-rothoblaas>>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- ROTHOBLAAS. **Fitas, selantes e membranas**: Estanqueidade ao ar, ao vento e impermeabilização. Rothoblaas PT: Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://www.rothoblaas.pt/catalogos-rothoblaas>>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- ROTHOBLAAS. **Parafusos e conectores para madeira**: Carpintaria, estruturas e exterior. Rothoblaas PT: Curitiba, 2020b. Disponível em: <<https://www.rothoblaas.pt/catalogos-rothoblaas>>. Acesso em: 21 nov. 2025.
- SILVA, R. D.; ALMEIDA, A. C.; MOURA, J. D. M. Ligações em painéis de Cross Laminated Timber (CLT). In.: 9º PROJETAR. **Anais do ...**, Curitiba-PR, 2019.
- SIMPSON Strong-Tie. **Conexões e fixações para montagens CLT**. Simpson: França, 2019. Disponível em: <https://www.strongtie.pt/sites/default/files/field_download_file/2021/05/27/105821/catalogue-clt_2019_ptg_internet.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- URBEM. **Caderno de Detalhamento Técnico de Madeira Engenheirada, vol. 2**. Urbem: São Paulo, 2022a. Disponível em: <<https://urbembr.com/biblioteca/caderno-tecnico-de-madeira-engenheirada-v03/>>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- URBEM. **Caderno de Detalhamento Técnico de Madeira Engenheirada, vol. 3**. Urbem: São Paulo, 2022b. Disponível em: <<https://urbembr.com/biblioteca/caderno-tecnico-de-madeira-engenheirada-v03/>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- URBEM. **Caderno de Detalhamento Técnico de Madeira Engenheirada, vol. 4**. Urbem: São Paulo, 2022c. Disponível em: <<https://urbembr.com/biblioteca/caderno-tecnico-de-madeira-engenheirada-v03/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- VILELA, R.; MASCIA, N. T. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de Pinus taeda provenientes de placas de Cross Laminated Timber. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 89-110, 2021.

NOTA DO EDITOR (*): O conteúdo do artigo e as imagens nele publicadas são de responsabilidade dos autores.