

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SOPHIA MAYUMI NISHIDA YAMATO

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CARBONO EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
EM CLT**

TOLEDO

2025

SOPHIA MAYUMI NISHIDA YAMATO

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CARBONO EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
EM CLT**

**CARBON EMISSIONS ANALYSIS OF CROSS-LAMINATED TIMBER SINGLE
FAMILY HOUSE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Manuele Regina Harnisch.
Coorientador: Gustavo Savaris.

TOLEDO

2025



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

SOPHIA MAYUMI NISHIDA YAMATO

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CARBONO EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
EM CLT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 11/06/2025

Manuele Regina Harnish
Especialista em Segurança Contra Incêndio e Pânico
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo Savaris
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Desirè Coraça Possa
Mestra em Energia na Agricultura
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago Alex Hemkemeier
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

TOLEDO

2025

Dedico este trabalho aos meus pais, pela educação
e apoio que pavimentaram este caminho.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso representa a materialização de um sonho e o ponto culminante de uma jornada acadêmica intensa e transformadora. Uma conquista que não seria possível sem o apoio inestimável e a colaboração de diversas pessoas e instituições que, de diferentes formas, se tornaram pilares fundamentais neste percurso.

Minha mais profunda gratidão se direciona, primeiramente, a professora Manuele e professor Gustavo. Agradeço imensamente pela paciência, sabedoria e apoio que guiaram e lapidaram esta pesquisa, sendo pilares essenciais para a sua conclusão.

Em um lugar de destaque em meu coração, dedico cada linha, cada esforço e cada aprendizado aos meus pais. A vocês, devo o alicerce de tudo o que sou. Mais do que o apoio financeiro ou a força nos momentos de cansaço, vocês me deram a base inabalável de valores, a educação que abriu todas as portas da minha vida e a crença incondicional de que eu era capaz de ir além. As horas de ausência, os sacrifícios silenciosos e o amor que transborda em cada gesto foram o verdadeiro motor desta jornada. É por vocês e para vocês que esta vitória se torna ainda mais significativa.

Aos meus queridos amigos, meu eterno agradecimento. Vocês foram o meu porto seguro e o meu respiro necessário nos dias mais intensos e desafiadores. Pelas risadas que aliviaram a pressão, pelos conselhos sábios e pela compreensão nos tempos de ausência. Esta vitória também é de vocês, que souberam me animar e me lembrar da importância de equilibrar o trabalho árduo com a leveza da vida.

"Nós moldamos nossos edifícios; depois eles nos moldam." (Churchill, 1943).

RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil tem impulsionado a busca por materiais e sistemas construtivos de menor impacto ambiental. Nesse contexto, a madeira lamelada colada cruzada (Cross Laminated Timber – CLT) surge como uma alternativa viável e sustentável à alvenaria e ao concreto armado, reduzindo as emissões de carbono associadas ao setor. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um projeto arquitetônico de uma habitação modular unifamiliar em CLT e avaliar sua pegada de carbono, desde a extração dos materiais até o transporte final. Para isso, foi realizado um estudo simplificado de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da edificação, permitindo a quantificação das emissões de dióxido de carbono geradas ao longo do processo. Além disso, foi desenvolvida uma comparação entre a construção em CLT e um modelo equivalente em alvenaria e concreto armado, a fim de demonstrar os impactos ambientais de cada sistema. Dessa forma, com base nos dimensionamentos estruturais e na quantificação detalhada dos materiais, foi possível processar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) inerentes a cada tipologia construtiva. Como resultado, a edificação em painéis em CLT apresentou um índice menor de emissões de CO₂. Contudo, salienta-se que os valores do CLT poderiam ter sido menores caso houvesse uma Declaração Ambiental de Produto (EPD) no Brasil, uma vez que os dados utilizados na pesquisa consideraram fabricantes internacionais, impactando no cálculo do transporte. Ter uma EPD brasileira daria números mais alinhados, mostrando o verdadeiro potencial ambiental do produto no país.

Palavras-chave: madeira engenheirada; MLCC; eficiência construtiva; efeito estufa.

ABSTRACT

The growing concern for sustainability in the construction industry has driven the search for materials and construction systems with a lower environmental impact. In this context, Cross-Laminated Timber (CLT) emerges as a viable and sustainable alternative to masonry and reinforced concrete, reducing carbon emissions associated with the sector. This study aimed to develop an architectural design for a single-family modular home using CLT and to evaluate its carbon footprint, from material extraction to final transport. To this end, a simplified Life Cycle Assessment (LCA) of the building was conducted, allowing for the quantification of the carbon dioxide emissions generated throughout the process. Furthermore, a comparison was made between the CLT construction and an equivalent model using masonry and reinforced concrete to demonstrate the environmental impacts of each system. Thus, based on the structural design and the detailed quantification of materials, it was possible to calculate the carbon dioxide (CO₂) emissions for each construction typology. As a result, the CLT building showed lower CO₂ emissions. However, it should be noted that the values for CLT could have been lower if an Environmental Product Declaration (EPD) were available in Brazil, as the data used in the research considered international manufacturers, which impacted the transportation calculation. A Brazilian EPD would provide more aligned figures, demonstrating the true environmental potential of the product in the country.

Keywords: engineered wood; X-Lam; construction efficiency; greenhouse effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Mcdonald's</i> localizado em São Paulo	17
Figura 2 – Configuração das lâminas em CLT	18
Figura 3 – Etapas de avaliação do ciclo de vida.....	22
Figura 4 – Etapas do ciclo de vida de uma edificação	23
Figura 5 – Estudo de planta baixa	25
Figura 6 – Interface Calcula Timber CLT	26
Figura 7 – Indicação das paredes dimensionadas	31
Figura 8 – Disposição e sentido das lajes.....	32
Figura 9 – <i>Layout</i> com vista tridimensional do projeto, no <i>software</i> Eberick V10	33
Figura 10 – Emissões de carbono	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de umidade	20
Quadro 2 – Etapas da obra	29
Quadro 3 – Localização das fábricas	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Análise de Impacto do Ciclo de Vida
CLT	Madeira Lamelada Colada Cruzada
CO ₂	Dióxido de Carbono
EPD	Declaração Ambiental de Produto
GEE	Gases e Efeito Estuda
GWP	Potencial de Aquecimento Global
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
SIDAC	Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{eff}	Área efetiva da seção transversal
b	Largura do painel
C_c	Índice de esbeltez
E_1	Módulo de elasticidade
$E_{I_{eff,y}}$	Rigidez efetiva à flexão
$f_{co,k}$	Resistência característica à compressão
γ_m	Coefficiente de instabilidade
h_{eff}	Espessura efetiva
I_{eff}	Momento de inércia efetivo
k_{mod}	Coefficiente de estabilidade
L_e	Comprimento efetivo de flambagem
N_{rd}	Resistência de cálculo à força axial
r_{eff}	Raio de giração
t	Espessura da camada

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros geométricos	32
Tabela 2 – Parâmetros de compressão	32
Tabela 3 – Cálculos das lajes	33
Tabela 4 – Verificações das lajes	33
Tabela 5 – Elementos estruturais dimensionado	34
Tabela 6 – Resumo de materiais para o sistema construtivo em CLT	35
Tabela 7 – Resumo de materiais do Eberick V10	35
Tabela 8 – Resumo materiais de parede de vedação e revestimento.....	36
Tabela 9 – Porcentagem de perda de materiais em alvenaria	36
Tabela 10 – Porcentagem de perda de materiais em CLT.....	37
Tabela 11 – Transporte e trajeto	38
Tabela 12 – Dados emissão de carbono A1, A2 e A3	39
Tabela 13 – Dados de estoque da madeira	39
Tabela 14 – Dados de emissão de carbono A4.....	40
Tabela 15 – Dados das perdas	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Aspectos da construção industrializada	16
2.2	<i>Cross-Laminated Timber</i>	17
2.2.1	Potencial do uso do CLT no Brasil	18
2.2.2	Comportamento mecânico dos painéis CLT	19
2.3	Emissão de carbono na construção civil	20
2.3.1	Ciclo do carbono na madeira.....	21
2.3.2	Avaliação do ciclo de vida (ACV).....	21
2.3.3	ACV na construção civil.....	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	Concepção do projeto	24
3.1.1	Dimensionamento da estrutura em CLT	25
3.1.2	Dimensionamento da estrutura em concreto armado.....	28
3.2	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	28
3.2.1	Definição de objetivo e escopo.....	28
3.2.2	Análise de inventário	28
3.2.3	Avaliação de impacto	29
3.2.4	Interpretação	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Projeto estrutural	31
4.1.1	Sistema em painéis em CLT	31
4.1.2	Sistema em concreto armado.....	33
4.2	Quantitativo dos materiais	34
4.2.1	Sistema em painéis em CLT	34
4.2.2	Sistema em concreto armado.....	35
4.2.3	Perdas	36
4.3	Transporte	37
4.4	Avaliação do impacto	38

4.5	Interpretação.....	41
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	ANEXO A - Planta baixa e corte.....	49
	ANEXO B - Planta baixa da construção em concreto armado	51
	ANEXO C - Corte dos painéis em CLT	53

1 INTRODUÇÃO

O aumento na frequência de eventos extremos e nas temperaturas médias globais são consequências visíveis das mudanças climáticas, e vem afetando a vida de bilhões de indivíduos (IPCC, 2023). No entanto, a indústria da construção contribui com cerca de 37% das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia, sendo provenientes das operações dos edifícios e da produção de materiais de construção, como concreto, aço e alumínio (UNEP, 2023). Nesse sentido, promover a utilização de materiais de construção e sistemas construtivos de menor impacto ambiental é essencial para desacelerar a crise climática.

Diante desse panorama, destaca-se o uso de madeiras engenheiradas, como a madeira lamelada colada cruzada (CLT), a qual tem recebido destaque recentemente tanto por seu desempenho estrutural quanto ambiental. Ademais, a pré-fabricação e a edificação modular se apresentam como alternativas viáveis à construção convencional, utilizando os recursos de forma mais eficaz e sustentável, e, ao mesmo tempo, diminuindo o desperdício e o tempo requerido para a sua execução (Bhandari et al., 2023).

O uso da madeira na construção civil tem importância devido a sua energia reduzida incorporada e características únicas, agregando valor aos sistemas pré-fabricados de painéis de madeira maciça, como o CLT. A característica principal desse material, em termos de sustentabilidade, é o fato de conseguir armazenar carbono ao longo do seu ciclo de vida, podendo transformar o edifício em um estoque de carbono. Dessa forma, o desenvolvimento de edificações em CLT é capaz de reduzir os impactos ambientais do setor da construção civil, decorrentes do crescimento urbano desenfreado (Lehmann, 2013).

Segundo Passarelli (2013), o uso do CLT começou a ganhar destaque na década de 1990 na Alemanha, Suíça e Áustria, sendo aprimorada por meio de colaborações entre os setores industriais e universidades. Essa popularização avançou e, de acordo com Germain et al. (2022), em 2015, a indústria europeia já respondia por 90% da produção mundial, impulsionada por benefícios estruturais, apelo estético e preocupação ambiental da população.

Embora sua utilização no Brasil ainda seja reduzida, o país possui condições propícias para implementar essa tecnologia. Isso se deve, principalmente, à disponibilidade de matéria-prima, já que o setor florestal nacional produz uma

quantidade considerável de madeira oriunda de florestas plantadas, com grande potencial de crescimento (Almeida; Moura; Silva, 2021).

1.1 Justificativa

Durante a história da civilização humana, a madeira acompanhou sua trajetória como matéria-prima fundamental na construção, devido sua disponibilidade e versatilidade. Contudo, a partir do século XIX, sua proeminência diminuiu pela consolidação de novas tecnologias construtivas, em especial o concreto armado (Oliveira, 2018).

No setor da construção civil no Brasil ainda predomina o processo construtivo em concreto, caracterizado por um elevado consumo de recursos naturais. A produção global de cimento, insumo essencial para o concreto, alcança bilhões de toneladas anualmente, intensificando os impactos ambientais, sendo responsável pelas altas emissões de carbono (Santoro; Kripka, 2016). Dados recentes do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), que apontam que em 2024, o consumo do insumo no país alcançou 64,7 milhões de toneladas (SNIC, 2025).

Diante da imperatividade das mudanças climáticas, ações mitigadoras são cruciais, destacando-se o sequestro de carbono pela fotossíntese, fundamental para reduzir a concentração de gás carbônico na atmosfera. Nesse sentido, o uso da madeira proveniente de florestas plantadas na construção civil contribui para a apreensão desse carbono. Essa abordagem se apresenta como uma via mais sustentável frente ao método construtivo convencional baseado em alvenaria no Brasil (Foggiato, 2021).

O cenário da construção civil no Brasil é dominado por métodos construtivos pouco industrializados e de caráter artesanal. Esses processos acarretam não apenas desafios de planejamento e execução, mas também um elevado custo ambiental. Diante disso, torna-se fundamental a implementação de tecnologias industrializadas. Nesse contexto, a madeira engenheirada se destaca como alternativa, pois une racionalização, através da pré-fabricação, à sustentabilidade de um recurso renovável (Warmling; Espindola; Abreu, 2022).

Em relação as preocupações com o meio ambiente, segundo Costa (2012), a quantificação das emissões de carbono é fundamental para mitigar os impactos ambientais no setor de edificações. Essa mensuração, baseada em fatores de

emissão locais, capacita a seleção de materiais com menor pegada de carbono, fomenta a implementação de ações mitigadoras e viabiliza comparações entre diferentes tipologias construtivas, contribuindo ativamente para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Nessas circunstâncias, a construção em CLT, sendo madeira engenheirada, surge como uma alternativa promissora no país. A aplicação desta tecnologia construtiva pode diversificar as opções construtivas, desvinculando o setor da dependência do concreto armado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Calcular a emissão de carbono de uma habitação unifamiliar em madeira lamelada colada cruzada desde a extração de matéria prima (A1) até a chegada do material na obra (A4).

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Propor um projeto de edificação unifamiliar em CLT;
- b) Desenvolver levantamento das emissões de CO₂ no projeto proposto;
- c) Desenvolver o levantamento de emissões da mesma solução arquitetônica proposta em concreto.
- d) Analisar a viabilidade ambiental com base nas emissões de CO₂ para a edificação em CLT e em concreto

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos da construção industrializada

O método construtivo industrializado é caracterizado pelo processo fabril onde a produção dos componentes e a pré-montagem de partes construtivas ocorrem em ambiente industrial, fora do canteiro de obra. Tal abordagem abrange desde a fabricação de elementos isolados e conjuntos menores até a montagem de grandes módulos tridimensionais, que são posteriormente integrados a edificação (Costa, 2013).

Um planejamento eficaz da pré-fabricação pode contribuir para a diminuição do cronograma de obra e para otimização dos custos de execução, aprimorando assim a eficiência geral e o desempenho ambiental do empreendimento. Adicionalmente, essa abordagem assegura a qualidade dos componentes e eleva a segurança no processo construtivo, culminando também na redução da geração de resíduos no local da obra (Penazzi; Souza; Serra, 2014).

Esse método construtivo utiliza diversos materiais, como madeira, aço e concreto. A madeira merece destaque como solução ambiental, pois além das vantagens sustentáveis desse modo de construção, o próprio material tem uma eficiência energética melhor. Como exemplo de sistemas construtivos em madeira, é possível citar a madeira lamelada colada cruzada, constituído de painéis de madeira maciça (Collinetti, 2016).

As construções industrializadas têm se destacado nos últimos tempos no Brasil. Empresas como a rede de *fast food*, *Mcdonald's*, construiu uma unidade na cidade de São Paulo, a qual foi executada em CLT e madeira lamelada colada, apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Mcdonald's localizado em São Paulo



Fonte: Urbem (2025)

2.2 Cross-Laminated Timber

Com o surgimento de novas técnicas e processos de produção, houve avanços significativos na qualidade e segurança das estruturas de madeira. Quando submetida à industrialização, a madeira é transformada em produtos conhecidos como madeira engenheirada, projetados para superar as limitações naturais do material e otimizar suas propriedades construtivas, aumentando seu desempenho. Em comparação com a madeira maciça convencional, esses produtos industrializados possuem maior resistência mecânica e física, dimensões longitudinais maiores e menor variação dimensional em condições de temperatura extrema. Uma das tecnologias construtivas que tem ganhado destaque no mercado brasileiro é o *Cross Laminated Timber* (CLT) ou madeira lamelada colada cruzada (MLCC) (Felix; Oliveira; Ono, 2022).

Conforme o catálogo da empresa Cross Lam (2025), os painéis de CLT são compostos por camadas de lâminas de madeira maciça, sendo que no Brasil é mais comum o uso de pinus e eucalipto. Elas são coladas em direções alternadas e opostas como mostrada na Figura 2, intercaladas com adesivo estrutural resistente à água e submetidas a alta pressão. Possuem um número ímpar de camadas (3, 5 ou 7), espessuras variando de 57 a 250 mm e dimensões de até 12 metros de comprimento, por 3 metros de largura. O acabamento das placas é realizado por meio de micro aparelhagem e lixamento, podendo ser usado como acabamento. Como se trata de

uma construção modular, os painéis são produzidos em fábrica e transportados para o local da obra, diminuindo o tempo de instalação e, por consequência, diminuindo seus custos.

Figura 2 – Configuração das lâminas em CLT



Fonte: Oliveira (2018)

2.2.1 Potencial do uso do CLT no Brasil

No Brasil, a construção civil é marcada pelo uso predominante de materiais não renováveis, como concreto e aço, devido à sua disponibilidade e consolidação no mercado. Apesar de sua eficiência estrutural, esses materiais têm altos impactos ambientais, incluindo elevadas emissões de carbono durante a produção (Thomas, 2019). Dessa forma, a introdução da madeira lamelada colada cruzada apresenta-se como uma alternativa sustentável e progressiva.

De acordo com o Relatório Ibá 2024, o país se destaca globalmente por sua notável produtividade, atingindo 10 milhões de hectares de árvores plantadas no ano de 2024, apresentando a maior taxa de produção de madeira por unidade área ao ano no mundo (IBÁ, 2024). Conseqüentemente, sendo reconhecido como um dos

principais produtores internacionais de papel, celulose e painéis de madeira, evidenciando a alta produtividade de sua indústria na base florestal.

Ainda que no Brasil existe um grande potencial para o uso do CLT, esse método construtivo é pouco difundido. Segundo Oliveira (2018), tal fato está relacionado a fatores como a falta de capacitação de profissionais da área e o preconceito associado ao uso da madeira como material de construção de uso estrutural.

Ainda assim, houve um avanço no país quanto à promoção da madeira engenheirada. Em 2022 a norma NBR 7190 foi atualizada, a qual, possuía registro de sua última versão publicada em 1997. Essa atualização confere relevância significativa ao ramo da construção civil, por fazer a menção da madeira lamelada colada cruzada, trazendo critérios de dimensionamento e métodos de ensaios (ABNT, 2022).

2.2.2 Comportamento mecânico dos painéis CLT

Os painéis em CLT são amplamente empregados como lajes, coberturas e paredes estruturais. As tensões e deformações que surgem em uma placa de CLT variam conforme o tipo de carregamento aplicado. Geralmente, essas placas são submetidas a cargas predominantes em uma única direção, embora também possam ser solicitadas em duas direções simultaneamente. No caso de uma laje, que suporta cargas verticais, o carregamento ocorre perpendicularmente às camadas de madeira. Já a parede, quando utilizada como elemento de contraventamento, é submetida a esforços no plano da madeira (Harrington; Jacob; Robinson, 2018).

A laminação cruzada melhora as propriedades estruturais dos painéis, distribuindo a força ao longo das fibras de madeira em ambas as direções e praticamente eliminando a retração ou deformação. Sua capacidade de suportar grandes cargas se tornam ideais para a construção de edifícios de múltiplos andares (Cross Lam, 2025).

Conforme citado por Araujo (2016), a norma europeia EN 16351 (CEN, 2015), impõe parâmetros importantes para o bom desempenho dos painéis. Como por exemplo: avaliar a seção transversal devido a deformação por esforço cortante; viabilidade de distribuir as cargas em duas direções ortogonais; grande estabilidade dimensional; contraindicar a aplicação em classe de serviço 3, referente devido aos fatores climáticos reduzirem a resistência da colagem entre as lamelas.

O último item tem similaridade com a tabela de classes de umidade, na norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 2022), apresentada na Quadro 1. Nela encontra-se a relação da propriedade da madeira com a condição de umidade do ambiente, sendo a classe de umidade 4 não aplicável ao MLCC.

Quadro 1 – Classes de umidade

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente	Umidade de equilíbrio máxima da madeira
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190-1 (2022)

Segundo Amorim, Mantilla e Carrasco (2018), ainda não há um consenso entre especialistas no dimensionamento estrutural do CLT. Geralmente, são levantadas diversas teorias e métodos em relação aos painéis que são submetidos a cargas perpendiculares ao plano. Parte dessas abordagens tem sido implementadas em normas técnicas de dimensionamento. Um desses métodos é o Gama, que é uma adaptação do anexo B do Eurocódigo 5 (EN, 2009), onde o dimensionamento leva em conta a inércia efetiva e é calculada a resistência à tração e compressão máximas e a resistência ao cisalhamento. É importante destacar que a NBR 7190 (ABNT, 2022) utiliza esse mesmo método como base para o cálculo estrutural.

2.3 Emissão de carbono na construção civil

No momento, o principal desafio ambiental é o aquecimento global, que traz consequências como alterações climáticas, elevação das águas oceânicas e variação no abastecimento de água potável. A maior parte das emissões de gases de efeito estufa (GEE) vinculadas às ações humanas, especialmente na produção de energia por meio da queima de combustíveis fósseis, é composta por dióxido de carbono (Bessa, 2010).

A construção civil é um grande contribuinte para as emissões de CO₂ na atmosfera, além de ser uma das principais causas do esgotamento das reservas naturais em nível global. A extração de recursos naturais destinados à indústria da construção civil provoca outros efeitos ambientais, como alteração do cenário, prejuízos à saúde humana, poluição do solo e deterioração de ecossistemas. A

fabricação de concreto, contribui com cerca de 6% a 9% das emissões globais, aumentando sua taxa anualmente, em resposta ao crescimento das cidades (Bello et al., 2024).

2.3.1 Ciclo do carbono na madeira

A madeira, por ser um material natural e renovável, possui a capacidade de sequestrar carbono durante o crescimento das árvores e armazená-lo em sua biomassa ao longo de sua vida útil. Isso contrasta diretamente com o concreto e aço, cuja produção libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Estudos indicam que edifícios construídos com madeira podem reduzir as emissões de GEE em até 40% em comparação com estruturas equivalentes feitas de concreto (Abed et al., 2022).

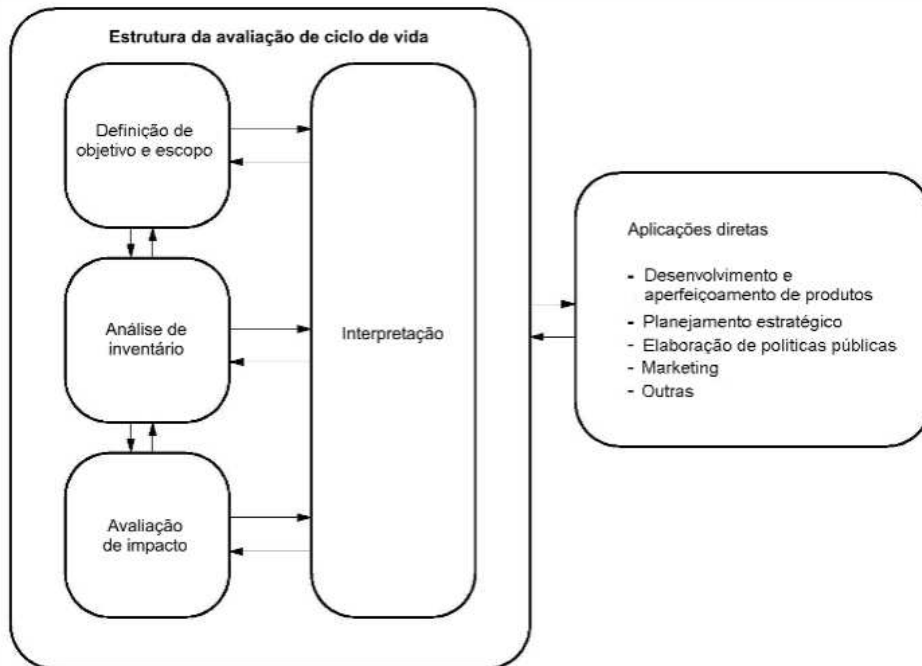
Conforme dito por Lehmann (2013), a madeira tem se destacado na construção devido à baixa energia incorporada. Sendo um material renovável e, quando proveniente de florestas gerenciadas de forma sustentável, pode ser colhida e replantada em ciclos, mantendo o equilíbrio ecológico.

2.3.2 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

Bessa (2010) afirma que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) emergiu nos anos sessenta, criada inicialmente para produtos industriais. Se trata de uma técnica utilizada para analisar os impactos ambientais de um produto, procedimento ou ação ao longo de todo o seu ciclo de vida, levando em conta a obtenção das matérias-primas, transporte, fabricação, utilização e descarte final. A ACV evoluiu e expandiu sua aplicação para diversas áreas, incluindo a construção civil com a avaliação de seus materiais.

Segundo Costa et al. (2014), o estudo de ACV constitui-se de quatro etapas (Figura 3), regidas pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2009). A norma confere o levantamento e a avaliação dos fluxos de entrada e saída, além dos potenciais impactos ambientais de um produto ou serviço, ao longo de todo seu ciclo de vida.

Figura 3 – Etapas de avaliação do ciclo de vida



Fonte: ABNT (2009)

O escopo estabelece os métodos para alcançar seus objetivos, determinando processos fundamentais considerados dentro do sistema dos produtos. Na etapa de análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) são coletados e organizados os dados referentes as entradas e saídas relacionadas ao sistema de estudo. Partindo para a análise de impacto (AICV), que relaciona as consequências do produto para o meio ambiente, considerando toda sua sequência de ciclo de vida. Por fim, a interpretação, onde seus resultados são sintetizados e analisados, podendo ser usados como uma conclusão, recomendação ou tomada de decisão (Costa et al., 2014).

2.3.3 ACV na construção civil

Segundo Pereira, Soares e Souza (2006), para a delimitação de uma avaliação de ciclo de vida é fundamental a compressão das etapas do ciclo de vida de uma edificação. Elas compreendem nos processos de transformação de energia e materiais que se estendem desde a obtenção das matérias-primas até a conclusão de da obra, marcada pela entrada e saída de materiais do canteiro. Seguindo pela fase de uso, delimitando o sistema para âmbito público e privado. Por fim, contemplam-se a etapa de descarte, reabilitação ou desmonte, geralmente motivadas por obsolescência, inequação funcional ou o fim da vida útil da estrutura. A ilustração dessas etapas é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Etapas do ciclo de vida de uma edificação

Informação do ciclo de vida da edificação														Informações além do ciclo de vida da edificação
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Produto			Construção		Uso					Fim de vida				Benefícios e impactos além da fronteira do sistema
Extracção de matérias-primas	Transporte	Produção dos materiais	Transporte	Construção (obra)	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Renovação	Desconstrução / demolição	Transporte	Processamento de resíduos	Disposição final	Potencial de reuso / recuperação / reciclagem
					B6									
1ª versão do Sidac														

Fonte: Sidac (2022)

Embora a ACV seja uma ferramenta essencial para guiar a construção rumo à sustentabilidade e cumprir metas climáticas, sua aplicação no Brasil ainda enfrenta obstáculos. O principal desafio consiste na escassez de banco de dados com Declarações Ambientais de Produtos (EPDs) nacionais (Caldas, Figueredo e Silva, 2024).

No cenário brasileiro, existem iniciativas e ferramentas que buscam suprir essa lacuna. Uma dessas ferramentas é o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC), que fornece dados de produtos para a avaliação de impactos ambientais. Esse sistema disponibiliza indicadores de desempenho ambiental de produtos de construção, os quais são calculados do berço ao portão da fábrica com base em dados brasileiros (SIDAC, 2025).

3 METODOLOGIA

A premissa desse estudo parte de uma análise detalhada do projeto arquitetônico de uma habitação unifamiliar em CLT, localizada na cidade de Toledo, no estado do Paraná. Ela foi desenvolvida não apenas com foco na concepção visual, mas também considerando sua viabilidade técnica e construtiva, alinhando aspectos estéticos, funcionais e estruturais para que a proposta seja realizável na prática.

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para alcançar os objetivos estabelecidos. A abordagem consistiu em um estudo comparativo do projeto de uma mesma habitação unifamiliar, dimensionada em CLT e em concreto armado e alvenaria, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida para quantificar e comparar as emissões de carbono de cada tipologia construtiva.

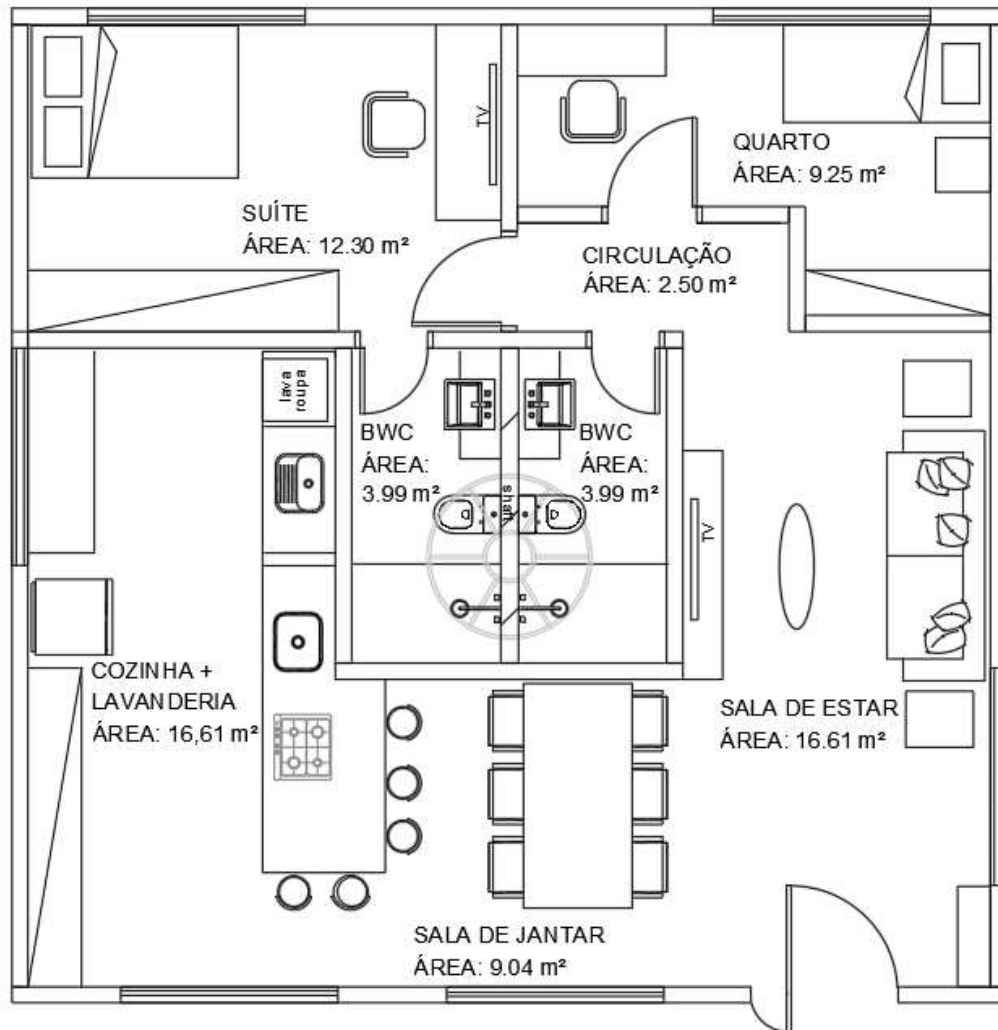
3.1 Concepção do projeto

Inicialmente foi idealizado a planta baixa da habitação (Figura 5) no software Autocad, seguindo as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013), seguindo os parâmetros de dimensões ideais para cada cômodo da casa, avaliando as dimensões dos mobiliários e circulação mínima, uma vez que, busca-se garantir que a residência seja confortável, funcional e atenda às necessidades dos usuários.

Além disso, a planta foi estudada para que a área molhada fosse concentrada em um só local, pois foi planejado que, quando possível, as paredes internas dos cômodos ficassem com os painéis em CLT aparentes. Segundo Warmling, Espindola e Abreu (2022), essa separação favorece a otimização e minimização dos custos no quesito de hidrossanitários, limita a exposição do CLT à umidade e reduz as áreas que demandam proteção contra infiltrações.

O projeto arquitetônico foi elaborado com uma área construída de 83,72 m² e uma área útil de 74,65 m², contendo suíte; quarto; cozinha; lavanderia; sala de jantar; sala de estar. Em relação a modulação das placas, foram definidas dimensões que atendessem aos tamanhos comerciais, sendo escolhida a placa de 14,9 cm de espessura. No Anexo A foi apresentada a planta da baixa da estrutura e o corte com suas devidas cotas.

Figura 5 – Estudo de planta baixa



Fonte: Autoria própria (2025)

3.1.1 Dimensionamento da estrutura em CLT

Para o dimensionamento das lajes fez-se o uso do *software Calcula Timber CLT* (Figura 6), desenvolvido em parceria pelas empresas Urbem e TQS, como uma calculadora de lajes de CLT com sua base de cálculo atrelada a NBR 7190 (ABNT, 2022). Por meio deste software é possível obter verificações de tensão normais, tensões de cisalhamento, deslocamentos imediatos e deslocamento a longo prazo. A espécie de madeira utilizada foi o pinus, devido à grande utilização em estruturas em CLT.

Figura 6 – Interface Calcula Timber CLT

Fonte: Autoria própria (2025)

Para o dimensionamento das paredes foram utilizadas planilhas eletrônicas no *software* Excel, seguindo a metodologia apresentada pela NDS (*American Wood Council*, 2018) e pela NBR 7190 (ABNT, 2022).

Os painéis, quando empregados como elementos estruturais verticais em uma edificação, são submetidos predominantemente a esforços de compressão axial. Para o dimensionamento e verificação da estabilidade, foi estabelecido um conjunto de parâmetros básicos relacionados à geometria do painel, que caracterizam seu comportamento como um elemento composto, por meio das Equações de 1 a 5:

a) Espessura efetiva:

$$h_{eff} = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} t_{2n-1} \quad (1)$$

b) Área efetiva da seção transversal:

$$A_{eff} = b \cdot h_{eff} \quad (2)$$

c) Rigidez efetiva à flexão:

$$(EI)_{eff,y} = \sum_{i=1}^n E_i \cdot by \cdot \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \cdot by \cdot t_i \cdot z_i^2 \quad (3)$$

d) Momento de inércia efetivo:

$$I_{eff} = \frac{(E1)_{eff,y}}{E_1} \quad (4)$$

e) Raio de giração efetivo

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{eff}}} \quad (5)$$

Onde:

t: espessura da camada

b: largura do painel de 1000mm

z: distância do centro da gravidade da peça e o centro da camada

E₁: módulo de elasticidade

Posteriormente, com base nessas equações, os cálculos de compressão foram realizados individualmente para cada painel estrutural, considerando os critérios normativos aplicáveis.

A verificação do índice de esbeltez é um parâmetro adimensional que representa a relação entre o comprimento efetivo de flambagem do elemento (L_e) e sua rigidez à flexão, expressa por meio do raio de giração (r_{eff}). Para garantir a estabilidade do elemento, seu valor deve ser inferior ou igual ao limite máximo de 43 (Equação 6).

$$C_c = \frac{L_e}{\sqrt{12} \cdot r_{eff}} \leq 43 \quad (6)$$

A capacidade resistente à compressão representa a força axial máxima de compressão que o painel pode suportar atendendo aos critérios de segurança. Esse cálculo é comparado posteriormente com a força solicitante para a verificação.

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot \left(\frac{f_{c0,k}}{\gamma_m} \right) \cdot k_{mod} \quad (7)$$

Onde,

$f_{c0,k}$: resistência característica à compressão

γ_m : coeficiente de segurança do material

k_{mod} : coeficiente de instabilidade

3.1.2 Dimensionamento da estrutura em concreto armado

Para o dimensionamento da estrutura de concreto armado do modelo em alvenaria foi utilizado o *software Eberick* (versão demonstrativa), da empresa *AltoQi*. A plataforma permitiu realizar o lançamento, análise e o dimensionamento de elementos como pilares, vigas e lajes, identificando os esforços e deslocamento, permitindo identificar erros de dimensionamento, conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2023).

3.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Para avaliar a sustentabilidade, foi realizado o levantamento quantitativo dos materiais utilizados, a fim de calcular as emissões de dióxido de carbono da infraestrutura, utilizando os métodos de ACV. Conduziu-se uma comparação da mesma residência utilizando o sistema construtivo em alvenaria e concreto armado.

3.2.1 Definição de objetivo e escopo

O escopo foi definido para estabelecer os limites e a abrangência da análise ambiental realizada. Como foi realizada uma comparação entre as tipologias construtivas, a unidade funcional estabelecida foi a habitação unifamiliar completa.

Os limites do sistema compreenderam as fases do ciclo de vida desde a extração de matéria prima (A1), transporte até a fábrica (A2), produção dos materiais (A3) e o transporte até o local da obra (A4). Analisou-se a totalidade dos materiais estruturais e de vedação empregados.

A categoria de impacto ambiental avaliada concentra-se no Potencial de Aquecimento Global (GWP), expresso em quilogramas de dióxido de carbono equivalente (kgCO₂eq).

3.2.2 Análise de inventário

Com o objetivo e escopo definido, a próxima etapa foi a análise de inventário. Nessa fase, primeiramente, foi organizado as etapas de execução a serem consideradas da obra, apresentadas no Quadro 2. Os serviços preliminares, instalações elétricas e hidrossanitárias e esquadrias foram desconsiderados por se tratar de itens que se enquadram nos dois sistemas construtivos estudados.

Quadro 2 – Etapas da obra

Item	Descrição
1	Superestrutura (pilar, viga e laje)
2	Paredes de vedação
3	Cobertura
4	Revestimentos

Fonte: Autoria Própria (2025)

Com os processos separados e com os cálculos estruturais realizados, foi possível estimar o quantitativo de materiais do projeto para ambos os sistemas construtivos propostos. É válido complementar que foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal, por se tratar de uma ferramenta utilizada comumente em orçamentação de obras, trazendo as composições de serviços de engenharia. Dessa forma, podendo auxiliar no quantitativo dos materiais para cada serviço e suas perdas.

Além dos insumos, é imprescindível o cálculo das distâncias percorridas do local da fabricação até a obra, estimado por meio da plataforma do *Google Maps*. Sendo importante pontuar que devem-se considerar os trajetos de ida e volta, por exemplo no caso do MLCC, o caminhão vai vazio até a floresta, carrega a matéria-prima e vai cheio até a fábrica, onde é manufaturado. Depois, é necessário considerar que o caminhão sai carregado desde a fábrica até a obra, e depois volta vazio da obra até a fábrica.

3.2.3 Avaliação de impacto

Como o painel em CLT é um material relativamente novo no país, não foi possível encontrar informações sobre sua emissão de carbono na literatura brasileira. Sendo assim, foram utilizados dados de uma Declaração Ambiental de Produto (EPD) elaborada pela Arboreal (2024), empresa uruguaia que fabrica os painéis e oferece informações desde sua extração, transporte e manufatura. Para os materiais complementares do painel, foram extraídos dados da EPD Tikkurila (2023) e EPD Joma (2023).

Para o restante dos insumos, os fatores de emissão baseiam-se nos dados do Sistema de Informação de Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC), que contém indicadores de pegada de carbono em uma biblioteca com 86 produtos de construção e 40 de insumos básicos, com informações desde a extração até sua

manufatura (SIDAC, 2025). Nele também foi possível obter os fatores de emissão do transporte de matérias-primas e do produto.

Todos os dados obtidos foram organizados e apresentados em uma planilha no *software Microsoft Excel*, de forma a estruturar as informações de maneira coesa e sistemática. Essa abordagem facilita a análise comparativa e permite uma visualização objetiva dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da construção.

3.2.4 Interpretação

Essa etapa constituiu a fase final e crucial da metodologia desta pesquisa, visando à análise dos dados obtidos para derivar conclusões substanciais sobre o desempenho ambiental das tipologias construtivas. Para tal, realizou-se uma análise comparativa dos impactos ambientais entre as edificações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da análise das emissões de carbono associadas ao método construtivo em painéis em CLT, bem como sua comparação com uma edificação equivalente executada em concreto armado.

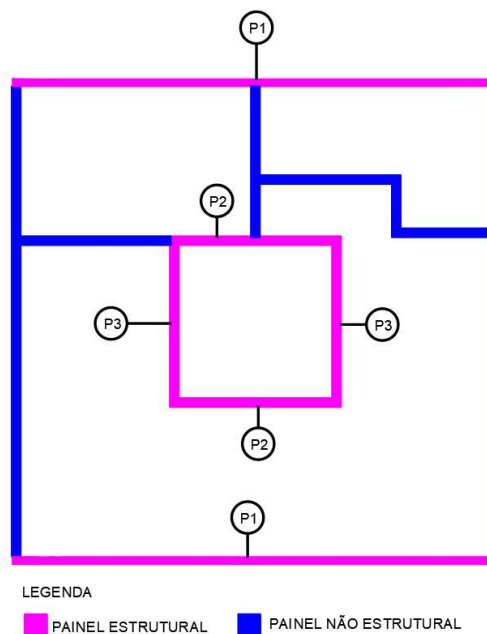
Os dados foram organizados considerando o quantitativo de materiais, o trajeto da fábrica até o local da obra e as emissões da queima de combustível fóssil.

4.1 Projeto estrutural

4.1.1 Sistema em painéis em CLT

A Figura 7 ilustra a disposição em planta dos painéis, diferenciando-os conforme sua função estrutural na edificação. Nessa representação as paredes que foram calculadas exercem função estrutural. P1 e P2 correspondem aos painéis que recebem as cargas provenientes da cobertura e P3, responsável por receber as cargas da laje, onde se encontra o reservatório de 1000 litros.

Figura 7 – Indicação das paredes dimensionadas



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, foram estabelecidas as características do painel de parede e laje de cobertura. Sendo composto por cinco camadas com espessuras de 35, 22, 35, 22 e 35 mm e classe de resistência C30. Além disso, para o suporte das cargas provenientes da cobertura,

optou-se pela utilização de uma viga de madeira maciça, com dimensões de 15x30 centímetros.

Tabela 1 – Parâmetros geométricos

Painel em CLT	H_{eff}	A_{eff}	EI_{eff}	I_{eff}	R_{eff}
32X22X35X22X35mm	105	105000	2,86E+12	2,38E+8	47,62

Fonte: Autoria própria (2025)

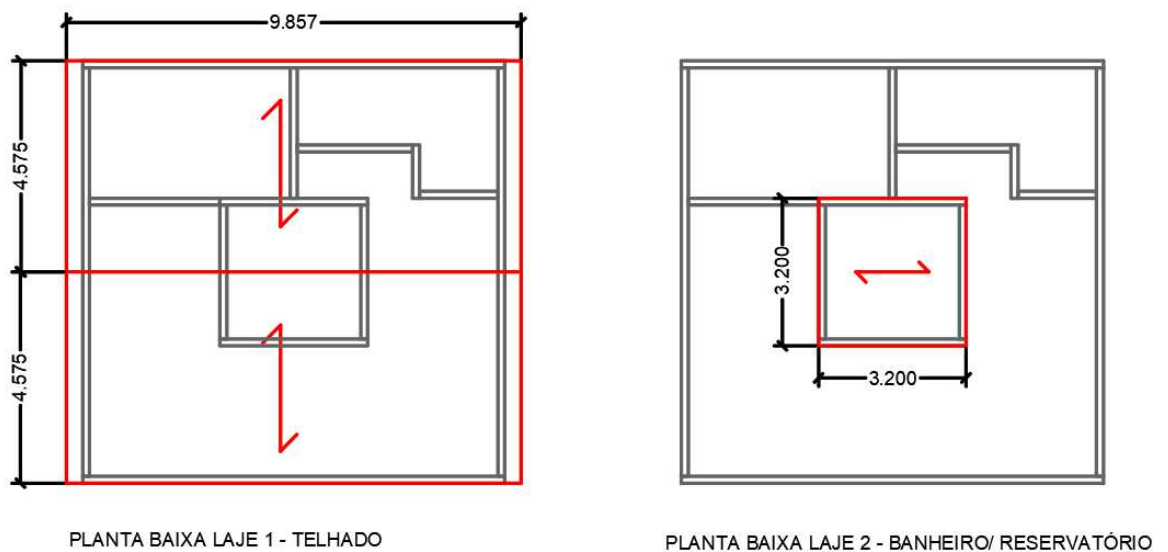
Tabela 2 – Parâmetros de compressão

Parede	C_c (mm)	Status	N_{rd} (N)	$N_{rd} \geq N_{sd}$ (kN/m)	Status
P1	16,97	OK	103500	$103500 \geq 5,5$	OK
P2	26,73	OK	103500	$103500 \geq 36,5$	OK
P3	16,97	OK	103500	$103500 \geq 2,97$	OK

Fonte: Autoria própria (2025)

Para o dimensionamento das lajes, os resultados obtidos no *software* Calcula Timber são apresentados na Tabela 3 e 4, servindo como apoio à verificação das paredes estruturais. A Figura 8 ilustra o posicionamento e o sentido das lamelas longitudinais.

Figura 8 – Disposição e sentido das lajes



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 3 – Cálculos das lajes

Laje	Vão (cm)	Tensões normais	Tensões cisalhamento	Flecha instantânea	Flecha final
		σ_{Sd9} (MPa)	τ_{Sd} (MPa)	dMax(t0) (cm)	dMax(t ∞) (cm)
L1	458	1,91	0,06	0,15	0,22
L2	320	1,37	0,05	0,14	0,21

Fonte: Autoria própria (2025)

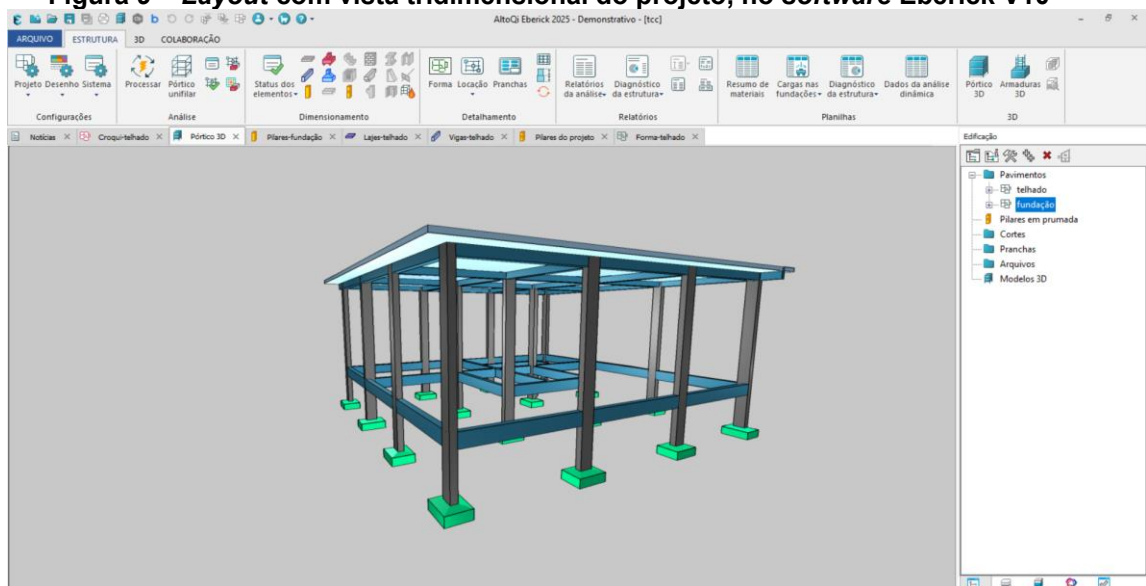
Tabela 4 – Verificações das lajes

Laje	Vão (cm)	Tensões normas	Tensões cisalhamento	Flecha instantânea	Flecha final
		σ_{Sd}/σ_{Rd} (%)	τ_{Sd}/τ_{Rd} (%)	L/dMax(t0) > 500	L/dMax(t ∞) > 300
L1	458	12,75	20,58	3028,53	2052,68
L2	320	9,14	16,90	2332,27	1539,63

Fonte: Autoria própria (2025)

4.1.2 Sistema em concreto armado

A modelagem estrutural foi desenvolvida a partir do projeto arquitetônico da edificação, cuja planta é apresentada no Anexo B, respeitando a disposição dos ambientes, modulação dos vãos e especificação do sistema construtivo. Para o lançamento dos elementos foram consideradas combinações de cargas atuantes e os parâmetros dos materiais adotados, possibilitando a definição precisa das dimensões e armaduras dos componentes estruturais. A Figura 9 apresenta o modelo tridimensional gerado pelo *software* Eberick.

Figura 9 – Layout com vista tridimensional do projeto, no software Eberick V10

Fonte: Autoria própria (2025)

Respeitando a modulação arquitetônica, os pilares foram distribuídos de maneira a garantir a estabilidade da edificação e a eficiência no caminho das cargas até a fundação. As vigas foram posicionadas estrategicamente para interligar os pilares e sustentar as lajes, que, por sua vez, foram dimensionadas de acordo com a geometria dos ambientes. O resumo das características e seções dos elementos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Elementos estruturais dimensionados

Elementos	Quantidade	Seção/ espessura (cm)	Concreto	Aço
Pilares	16	15x30	C25	CA50
Vigas	8	15x30	C25	CA50
Lajes maciças	9	15	C25	CA50

Fonte: Aatoria própria (2025)

4.2 Quantitativo dos materiais

4.2.1 Sistema em painéis em CLT

Para a determinação do quantitativo foi realizada uma medição detalhada com base no desenho arquitetônico e nos planos estruturais do projeto, apresentado na Tabela 6.

Cada painel, seja ele de parede ou de laje, foi individualmente identificado e suas dimensões geométricas foram registradas, sendo sua espessura igual a 14,9 cm para todos. O detalhamento de cada painel com suas cotas e áreas encontra-se discriminado no Anexo C. A área total obtida para o projeto foi de 323,69 m².

Ademais, é imprescindível a determinação de materiais complementares da edificação. Para os elementos que conectam os painéis, a quantificação foi realizada por meio de uma estimativa que, conforme Brito e Junior (2010), corresponde a 1% da massa total da estrutura, obtendo cerca de 228,61 kg em conexões de aço galvanizados.

Conforme o catálogo da *Crosslam* (2025), os painéis devem receber revestimento, sejam elas, *stain*, aço, alumínio, cortiça ou fachadas ventiladas em madeira, visando proteção e durabilidade da madeira.

Dessa forma, foi escolhido o uso de *stain*. O cálculo considerou a área total dos painéis, o número de demãos recomendado e o rendimento específico do produto. Para a quantificação, foi escolhido o fabricante Tikkurila, empresa localizada na Suécia. Isso deve ao fato de não haver a fabricação desse produto no Brasil, sendo

necessário a exportação dele. Os dados disponíveis na ficha técnica (Tikkurila, 2023) especifica para duas demãos um consumo de 200g/m².

Esse procedimento assegura a previsão precisa da quantidade em litros necessária para proteção conta intempéries, raio UV e agentes biológicos, além de contribuir para o acabamento estético desejado, totalizando 61,48 litros de *stain*.

Tabela 6 – Resumo de materiais para o sistema construtivo em CLT

Elemento	Quantidade	Unidade
Painéis	323,69	m ²
Conexões	228,61	kg
<i>Stain</i>	61,48	Litros

Fonte: Aatoria própria (2025)

4.2.2 Sistema em concreto armado

No levantamento dos materiais e quantitativos do projeto em concreto armado e alvenaria, foram adotadas duas abordagens distintas, de acordo com a natureza dos elementos.

Os materiais usados nos elementos estruturais, como concreto, aço e fôrmas, foram obtidos diretamente a partir do modelo lançado no *software* Eberick V10, que fornece o relatório de resumo de materiais detalhado de volume de concreto, peso de armaduras e área de fôrmas, conforme o Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo de materiais do Eberick V10

Pavimento	Elemento	Peso do aço (kg)	Volume de concreto (m ³)	Área de forma (m ²)
Térreo	Vigas	252,2	3,0	33,5
	Pilares	243,1	2,3	45,9
	Lajes	489,5	11,5	96,6
	Total	984,8	16,8	175,9

Fonte: Aatoria própria (2025)

Já os materiais de vedação e revestimento, como blocos cerâmicos, argamassa de assentamento e revestimento, foram quantificados com base nas áreas de projeto e nos coeficientes de consumo disponíveis na tabela de insumos do SINAPI. Os dados coletados se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo de materiais de parede de vedação e revestimento

Elemento	Especificação	Quantidade	Total	Fonte de dados	Referência
Bloco cerâmico vazado	(11,5x14x24)	4265,54	4265,54	SINAPI 103354	SINAPI 2025
	Assentamento	1,66		SINAPI 103354	SINAPI 2025
Argamassa	Parede interna	5,01	11,21	SINAPI 87529	SINAPI 2025
	Parede externa	3,01		SINAPI 87781	SINAPI 2025
	Parede teto	1,53		SINAPI 90409	SINAPI 2025

Fonte: Autoria própria (2025)

4.2.3 Perdas

Na construção civil, as perdas de materiais são inerentes e, por isso, devem ser calculadas e consideradas no planejamento da obra. Essa previsão de perdas, geralmente expressa como um percentual sobre o consumo líquido dos materiais, é incorporada aos quantitativos para garantir que a aquisição de insumos seja precisa, evitando déficits ou excessos no canteiro e otimizando o orçamento (Araújo, 2017).

Dessa forma, a partir da constatação de que o setor da construção civil gera uma quantidade significativa de perdas, foi necessário considerá-las na análise das emissões de carbono. A quantificação é fundamental para estimar o impacto ambiental associado, permitindo uma avaliação mais precisa da pegada de carbono gerada ao longo do processo construtivo.

A porcentagem de perda varia conforme o material empregado. Para obtenção desses dados, utilizou-se a base de dados do SINAPI, apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Porcentagem de perda de materiais em alvenaria

Material	% desperdício	Fonte dos dados	Referência
Concreto	10,3	SINAPI 103669	SINAPI 2025
Aço	11	SINAPI 92802	SINAPI 2025
Fôrmas de viga	30	SINAPI 92270	SINAPI 2025
Fôrmas de pilares	96	SINAPI 92269	SINAPI 2025
Fôrmas de laje	16	SINAPI 92271	SINAPI 2025
Bloco cerâmico vazado	13,2	SINAPI 103354	SINAPI 2025
Argamassa	76	SINAPI 103354	SINAPI 2025

Fonte: Autoria própria (2025)

Para os painéis em CLT, como se trata de um material pré-fabricado, foi considerada a metragem total utilizada no projeto, e a perda foi calculada com a base na sobra gerada pelos recortes em um painel de 3,0 x 12 m produzido pela fábrica da

Arboreal. Já no caso do Stain, o cálculo foi realizado a partir da sobra da lata de 18L da empresa Tikkurila.

Tabela 10 – Porcentagem de perda de materiais em CLT

Material	% desperdício	Fonte dos dados	Referência
Painéis em CLT	17,81	Arboreal EPD	Arboreal 2024
Stain	20,17	Tikkurila EPD	Tikkurila 2024

Fonte: Autoria própria (2025)

4.3 Transporte

Para a etapa de transporte, foram calculadas as distâncias dos trajetos entre as fábricas e a cidade de Toledo-PR, por meio de pesquisa direcionada a cada insumo considerado no estudo. A fábrica selecionada, juntamente com seu endereço completo, respectivamente para cada material encontra-se detalhada no Quadro 3.

Quadro 3 – Localização das fábricas

Material	Empresa	Endereço
Concreto	Concresuper	Rodovia BR 277, km 586, S/N
Madeira	Marfim Madeira	Av. Parigot de Souza, 1986 – Jardim Porto Alegre, Toledo-Pr
Aço	Gerdau	Rodovia PR 423, km 24,5 – Araucária - PR
Bloco cerâmico vazado	Cerâmica Nilson Drisner	R. Juscelino Kubitscheck, 26 - Centro, Nova Santa Rosa - PR
Argamassa	Massa Mix	Estrada Rural Linha Guavira, BR 277 km 598, Cascavel - PR
Painel em CLT	Arboreal	Gral. Leandro Gómez km 224, Tacuarembó - Uruguai
Stain	Tikkurila	Finlândia
Conexão para o CLT	Joma's	Suécia

Fonte: Autoria própria (2025)

Além disso, definiu-se o modal de transporte mais compatível com a cada tipo de material, levando em conta a capacidade de carga dos veículos disponíveis e quantidade deles. Para isso, foi necessário realizar a conversão dos insumos para toneladas. Os dados de massa específica foram obtidos por meio de fontes técnicas, como o SIDAC, Arboreal e Tikkula.

As cargas foram mensuradas considerando os percentuais de perda, uma vez que tais excedentes fazem parte do volume efetivamente transportado. A única exceção são os painéis em CLT, devido seus cortes serem executados em fábrica, eliminando a necessidade de gerar perdas no canteiro.

Tabela 11 – Transporte e trajeto

Material	Carga utilizada (toneladas)	Veículo e carga limite (toneladas)	Trajeto (km)	Tonelada-quilômetro (tkm)
Concreto	43,80	Caminhão betoneira (15,8 ton)	52,6	2303,88
Aço	0,98	Caminhão toco (6 ton)	530	519,4
Fôrmas	2,33	Caminhão toco (6 ton)	2,6	6,06
Bloco cerâmico	11,10	Caminhão Truck (14 ton)	41,3	458,43
Argamassa	24,15	Caminhão Betoneira (15,8 ton)	46,3	1118,145
Painéis em CLT	22,09	Caminhão Bitrem (57 ton)	1065	23525,85
Stain	0,072	Navio	13482,74	970,76
	0,072	Caminhão toco (6 ton)	641	46,15
Conexões CLT	0,28	Navio	13457,82	3768,19
	0,28	Caminhão toco (6 ton)	641	179,48

Fonte: Autoria própria (2025)

4.4 Avaliação do impacto

As emissões de carbono foram quantificadas com a base na estrutura modelar estabelecida pelas diretrizes da Análise de Ciclo de Vida (ACV), permitindo uma avaliação sistematizada do impacto ambiental associado aos materiais utilizados nas construções comparadas.

Os fatores de emissão máxima e mínima foram prospectados de EPDs específicas para cada material: alvenaria e concreto armado, SIDAC (2025); painel em CLT, Arboreal (2024); Stain, Tikurrila (2023); conexões dos painéis em CLT, Joma (2023). Para uma visualização mais clara e uma análise mais detalhada, foi elaborada a Tabela 12, fornecendo os dados gerados do módulo A1, A2 e A3.

Tabela 12 – Dados emissão de carbono A1, A2 e A3

INVENTÁRIO CICLO DE VIDA ALVENARIA E CONCRETO ARMADO – A1, A2 E A3							
Item	Quantidade	Unidade	Fator de emissão mínima	Fator de emissão Máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Concreto	18,53	M ³	200	306	3360	5140,80	Kg
Aço	1093,13	Kg	0,4259	1,061	419,43	1044,87	Kg
Fôrmas viga	1,67	M ³	16,71	35,3	21,44	45,29	Kg
Fôrmas Pilares	2,41	M ³	16,71	35,3	20,59	43,49	Kg
Fôrmas laje	2,18	M ³	16,71	35,3	31,46	66,45	Kg
Bloco cerâmico vazado	4828,59	Unidade	0,1483	0,3519	632,58	1501,04	Kg
Argamassa	19,74	M ³	283,2	348,4	3176,52	3907,84	Kg
Total					7662,01	11749,79	Kg
INVENTÁRIO CICLO DE VIDA CLT – A1, A2 E A3							
Item	Quantidade	Unidade	Fator de emissão mínima	Fator de emissão Máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Painel em CLT	48,23	M ³	111	111	5353,51	5353,51	Kg
Stain	144	Litros	0,982	0,982	127,15	127,15	Kg
Conexão	82,99	Kg	2,81	2,81	810,99	810,99	Kg
Total					6291,65	6291,65	Kg

Fonte: Autoria própria (2025)

A Tabela 13 foi elaborada para quantificar a contribuição da madeira para o sequestro de carbono na edificação, apresentando o estoque de carbono calculado. Essa tabela detalha os valores de carbono armazenado dos diferentes elementos construtivos que contêm madeira.

Tabela 13 – Dados de estoque da madeira

Elemento	Quantidade (m³)	Fator de estoque	Estoque (kg)	Fonte de dados	Referência
Painel em CLT	48,23	857	41332,9	EPD Arboreal	Arboreal 2024
Fôrmas	6,26	236,8	1482,4	EPD Sidac	SIDAC 2025

Fonte: Autoria própria (2025)

Em seguida, o módulo A4, referente a emissões geradas no transporte da fábrica até o canteiro e a sua volta a fábrica, é apresentado na Tabela 14. Analisada por tipo de veículo utilizado no transporte dos materiais. Sendo atribuído a cada veículo a totalidade dos materiais que o utilizam em comum.

Tabela 14 – Dados de emissão de carbono A4

INVENTÁRIO CICLO DE VIDA ALVENARIA E CONCRETO ARMADO – A4						
Transporte	Tkm	Fator de emissão mínima	Fator de emissão máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Betoneira	8544,30	0,09641	0,09641	823,76	823,76	Kg
Truck	917,34	0,06801	0,06801	62,39	62,39	Kg
Toco	1056,01	0,09778	0,09778	103,26	103,26	Kg
Total				989,41	989,41	Kg
INVENTÁRIO CICLO DE VIDA CLT – A4						
Transporte	Tkm	Fator de emissão mínima	Fator de emissão máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Britem	48693,78	0,03801	0,03801	1850,85	1850,85	Kg
Navio	5629,75	0,006842	0,006842	38,52	38,52	Kg
Toco	267,99	0,09778	0,09778	26,20	26,20	Kg
Total				1915,57	1915,57	Kg

Fonte: Autoria própria (2025)

Para aprimorar a visibilidade e o entendimento do impacto específico das perdas, estas foram quantificadas e apresentadas de forma separada na Tabela 15. As perdas, que representam insumos consumidos além do necessário, não configuram apenas um problema econômico, mas geram um impacto ambiental direto.

Tabela 15 – Dados das perdas

PERDA ALVENARIA E CONCRETO							
Item	Quantidade	Unidade	Fator de emissão mínima	Fator de emissão Máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Concreto	2,45	M³	200	306	490	749,7	Kg
Aço	108,33	Kg	0,4259	1,061	46,14	114,94	Kg
Fôrmas viga	0,38	M³	16,71	35,3	6,35	13,41	Kg
Fôrmas Pilares	1,18	M³	16,71	35,3	19,72	41,65	Kg
Fôrmas laje	0,30	M³	16,71	35,3	5,01	10,59	Kg
Bloco cerâmico	563,05	Unidade	0,1483	0,3519	83,50	198,14	Kg
Argamassa	8,52	M³	283,2	348,4	2412,86	2968,37	Kg
Total					3063,58	4096,801	Kg
PERDA CLT							
Item	Quantidade	Unidade	Fator de emissão mínima	Fator de emissão Máxima	Emissão mínima	Emissão Máxima	Unidade
Painel CLT	21,07	M³	111	111	2338,77	2338,77	Kg
Stain	14,52	Litros	0,982	0,982	14,26	14,26	Kg
Conexão	0	Kg	2,81	2,81	0	0	Kg
Total					2353,03	2353,03	Kg

Fonte: Autoria própria (2025)

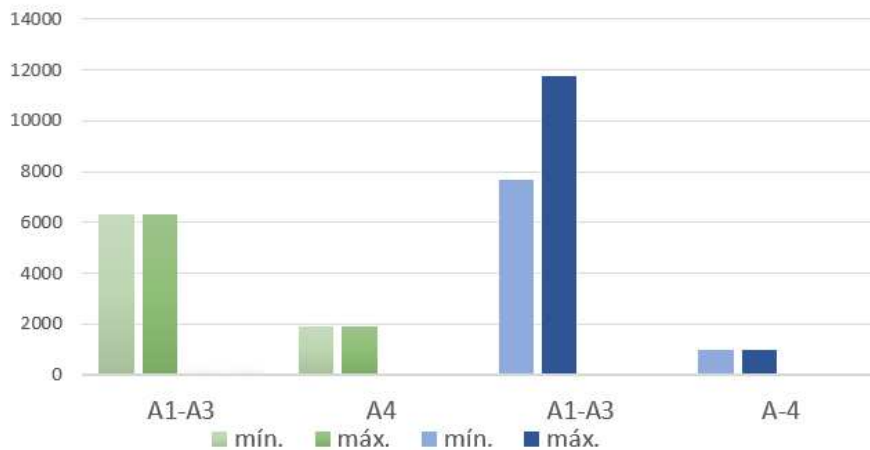
4.5 Interpretação

A presente etapa consiste na interpretação dos resultados obtidos por meio da ACV, visando a comparação do desempenho ambiental entre a edificação em CLT e concreto armado.

No que diz a respeito às emissões de carbono, um dos indicadores mais relevantes de impacto ambiental, foi observado uma diferença significativa. Para a edificação em concreto armado, somando os módulos calculados, a emissão mínima total foi de 8651,51 kg de carbono e emissão máxima total de 12739,2 kg de carbono. Já para a edificação concebida com painéis em CLT, esta emissão se reduziu para cerca de 8207,22 kg de carbono, sendo o valor igual para máxima e mínima. Isso representa uma redução de 5,13% da mínima e 35,58% da máxima no potencial de aquecimento global, comparando entre os dois sistemas construtivos.

A Figura 10 apresenta os dados às emissões de carbono, segmentados conforme as fases A1-A3 e A-4 do ciclo de vida. As barras verdes correspondem ao sistema em CLT e as azuis representam o sistema em alvenaria e concreto armado.

Figura 10 – Emissões de carbono



Fonte: Autoria própria (2025)

Apesar da emissão de carbono total ser superior no sistema de alvenaria convencional em comparação ao CLT, a análise por etapas revela que A4 (transporte da fábrica até a obra e sua volta a fábrica), apresenta emissões mais elevadas para o CLT. Essa fase contribui com 23% da emissão total, enquanto para o sistema em

alvenaria essa participação varia entre 8% (no cenário de emissão máxima) e 11% (no cenário de emissão máxima).

Esse aspecto se deve, em grande parte, ao fato de que os produtos relacionados ao sistema CLT utilizados foram provenientes de outros países, o que resultou em um percurso de transporte significativamente mais longo até o local da obra, implicando em um aumento das emissões associadas a etapa A4.

Outrossim, a madeira se destaca por sua capacidade inerente de atuar como um estoque de carbono, mantendo o carbono absorvido pela árvore durante seu crescimento ao longo da vida útil da edificação. Esse estoque representa um benefício ambiental positivo, totalizando 41332,9 kg de carbono.

É importante salientar que, no escopo desta análise, o estoque associado às formas de concreto não foi contabilizado. Isso se deve à natureza temporária delas no processo construtivo e a dificuldade de prever seu destino após a obra. Dessa forma, assumiu-se que as formas são utilizadas durante a fase de execução da construção e subsequente descartadas.

Ao analisar os índices de perdas de materiais, observa-se que a estrutura de alvenaria convencional tende a apresentar um volume de desperdício significativamente superior em relação a estrutura em CLT. Essa diferença é atribuída pela natureza distinta dos processos construtivos de cada sistema. Durante à execução in loco da alvenaria, que, por ser manual e sujeita à variabilidade do canteiro, gera perdas expressivas. Em contraste, o CLT, fabricado em ambiente industrial controlado e otimizado, se beneficia da pré-fabricação e precisão dimensional, reduzindo drasticamente as perdas. Comparando os sistemas construtivos analisados, houve uma redução de 23,19% nas emissões mínimas e 42,55% nas emissões máximas.

Tendo em vista que os resíduos de CLT, podem ser reutilizados como fonte energética dentro da própria fábrica por serem provenientes da madeira, isso implica em alocar os impactos das perdas para o processo de outro produto. Porém, foi adotada uma visão mais conservadora, desconsiderando esse cenário.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmam o notável potencial dos painéis de CLT como uma alternativa construtiva de alto desempenho e ambientalmente favorável. A análise de ciclo de vida demonstrou uma redução nas emissões de carbono. Além disso, o CLT se destaca pela sua capacidade em armazenar carbono ao longo da sua vida útil da edificação.

Em síntese, o emprego do CLT não apenas atende às demandas de segurança e desempenho estrutural, mas também alinha a construção civil a princípios de sustentabilidade. Além disso, apresenta vantagens significativas em termos de racionalização e eficiência construtiva. Em contraste com as elevadas perdas de materiais no sistema em alvenaria e concreto armado, o ambiente industrializado da fabricação de painéis em CLT minimiza esse desperdício.

Contudo, é importante ressaltar que os impactos ambientais associados ao CLT poderiam ser menores, caso houvesse maior disponibilidade de dados de Declarações Ambientais de Produto (EPD) referentes a painéis produzidos no Brasil. Como os dados utilizados nesta pesquisa foram majoritariamente provenientes de fabricantes internacionais, o impacto ambiental do transporte internacional foi incorporado à análise, o que pode ter elevado as emissões em comparação a um cenário de produção local.

Considerando que a presente pesquisa utilizou dados de EPDs de fabricantes internacionais, uma sugestão para futuras pesquisas é a realização de um estudo simulando um cenário de produção 100% nacional. Tal pesquisa poderia desenvolver uma Análise de Ciclo de Vida baseada em fornecedores de matéria-prima e fabricação de CLT localizadas no Brasil, recalculado o impacto da etapa de transporte(A4). Isso permitiria quantificar com maior precisão o real potencial ambiental do sistema construtivo no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABED, J. et al. A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5570, 5 maio 2022.
- ALMEIDA, A. C. DE; MOURA, J. D. DE M.; SILVA, R. D. Potencial de implantação do sistema construtivo Cross Laminated Timber – CLT no Brasil/ Potential for implementing the Cross Laminated Timber – CLT construction system in Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, 13 jun. 2021.
- AMERICAN WOOD COUNCIL (AWC). **ANSI/AWC NDS-2018: National Design Specification (NDS) for Wood Construction**. Leesburg, VA, 2018.
- AMORIM, S. T. A.; MANTILLA, J. N. R.; CARRASCO, E. V. M. A madeira laminada cruzada: aspectos tecnológicos, construtivos e de dimensionamento. **Revista matéria** (Rio de Janeiro), v. 22, 8 jan. 2018.
- ARAÚJO, A. P. D. et al. Análise das perdas de materiais no serviço de alvenaria: estudo de caso realizado em obras de edificações residenciais de pequeno porte. **Revista principia**. Divulgação científica e tecnologia do IFPB, número 35. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2017
- ARAÚJO, B. D. R. **Dimensionamento de estruturas de madeira usando o programa TimberTech**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Ciclo de estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Minho, 2016.
- ARBOREAL. **EPD Cross-laminated Timber Arboreal**. 2024. Disponível em: <https://arboreal.com/wp-content/uploads/2024/07/EPD-Cross-laminated-Timber-Arboreal.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190:2022: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BELLO, L. D. et al. Avaliação do ciclo de vida de concretos geopoliméricos: estudo comparativo. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 10, n. 3, p. 449–467, 14 set. 2024.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BHANDARI, S. et al. A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas. **Journal of Building Engineering**, v. 63, n. 105485, jan. 2023.

BRITO, L. D.; JUNIOR, C. C. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento.** Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

CALDAS, L. R.; FIGUEIREDO, C. R.; SILVA, M. C. F. Avaliação de emissões de carbono: análise comparativa entre dados de projeto e de obra nas etapas de fundação e estrutura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]** Maceió: ANTAC, 2024.

CHURCHILL, Winston S. **Speech on the bombing of the House of Commons chamber.** Londres, 28 out. 1943.

COLLINETTI, D. A. **Estudo de caso da eficiência energética de dois sistemas construtivos em madeira: CLT e Wood Frame.** 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Itapeva, Itapeva, 2016.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na Construção Civil no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

COSTA, E. B. et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

COSTA, J. A. **Construção pré-fabricada – análise da utilização da pré-fabricação nas várias etapas do processo construtivo.** Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

CROSSLAM. **Cross Laminated Timber: informações técnicas.** Suzano: Crosslam, Catálogo Técnico, 2025.

DORIA, L. E. S. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL, 2007.

ENVIRONDEC. **Galvanized timber connectors (multiple products) – JOMA**. 2022. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd9482>. Acesso em: 18 mar. 2025.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 16351: Timber structures – Cross laminated timber – Requirements**. Brussels, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1995-1-1:2009: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General rules**. Brussels, 2009.

FAGUNDES, F; OLIVEIRA, E. A. D. Estudo comparativo entre construção modular e construção convencional comparative study between modular construction and conventional construction. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v.07, 2024.

FELIX, P. M. A.; OLIVEIRA, F. L. D.; ONO, R. **Aplicação dos requisitos de proteção passiva para o cross laminated timber - CLT segundo a ABNT NBR 15575:2021**. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v 17, n 4, 2022.

FOGGIATO, W. S. **Apreensão de carbono em construções de madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021.

GERMAIN, R. et al. Assessing the adoption of Cross Laminated Timber by architects and structural engineers within the United States. **Journal of Green Building**, 17, n. 1, janeiro 2022. 127-147.

HARRINGTON, J.; JACOB, M.; ROBINSON, B. **The Structural Use of Timber-** Handbook for Eurocode 5: Part 1-1. COFORD, Department of Agriculture, Food and the Marine, Dublin.

IBÁ. **Relatório IBÁ 2024**. Braspília, DF: Ibá, 2024. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes/relatorios-anuais>. Acesso em: 18 mar. 2025.

IPCC – Painel intergovernamental sobre a mudança do clima. **Mudança do clima 2023**. Genebra: 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.

JOMA AB. **Galvanized timber connectors**. EPD International, 2023. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd9482>. Acesso em: 20 mar. 2025.

JORGE, L. P.; RAVACHE, R. L. Construção modular pré-fabricada, o futuro da arquitetura no brasil. **Connectionline**, n.24, 2021.

LEHMANN, S. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. **Sustainable Cities and Society**, v. 6, p. 57–67, fev. 2013.

OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2018.

ORÇAMENTOR. **SINAPI**. 2025. Disponível em: <https://orcamentor.com/sinapi/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

PASSARELLI, R. N. **Cross Laminated Timber: diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 174. 2013.

PENAZZI, M. E.; SOUZA, A. S. C. de; SERRA, S. M. B. Construções industrializadas para Habitações de Interesse Social: aspectos gerais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2014.

PEREIRA, S. W.; SOARES, S. R.; SOUZA, D. M. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. **Coletânea Habitare**, vol. 7, Construção e Meio Ambiente, p. 97-127. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 35-49, abr./jun. 2016.

SIDAC. **Sistema de informação do desempenho ambiental da construção**. 2025. Disponível em: <https://sidac.org.br>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO (SNIC). **Resultados Preliminares de Dezembro de 2024**. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=104>. Acesso em: 20 fev. 2025.

THOMAS, P. A. **Comparativo da emissão de carbono entre o sistema de alvenaria convencional em relação ao sistema steel frame utilizando aço verde**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, 2019.

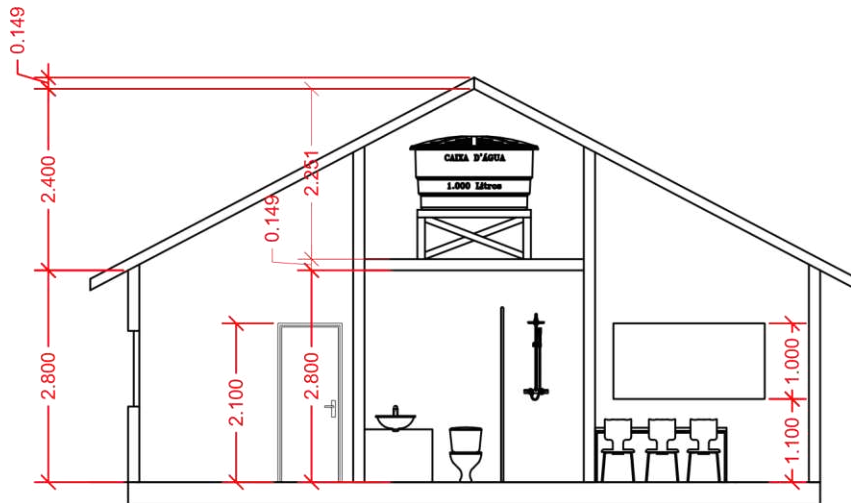
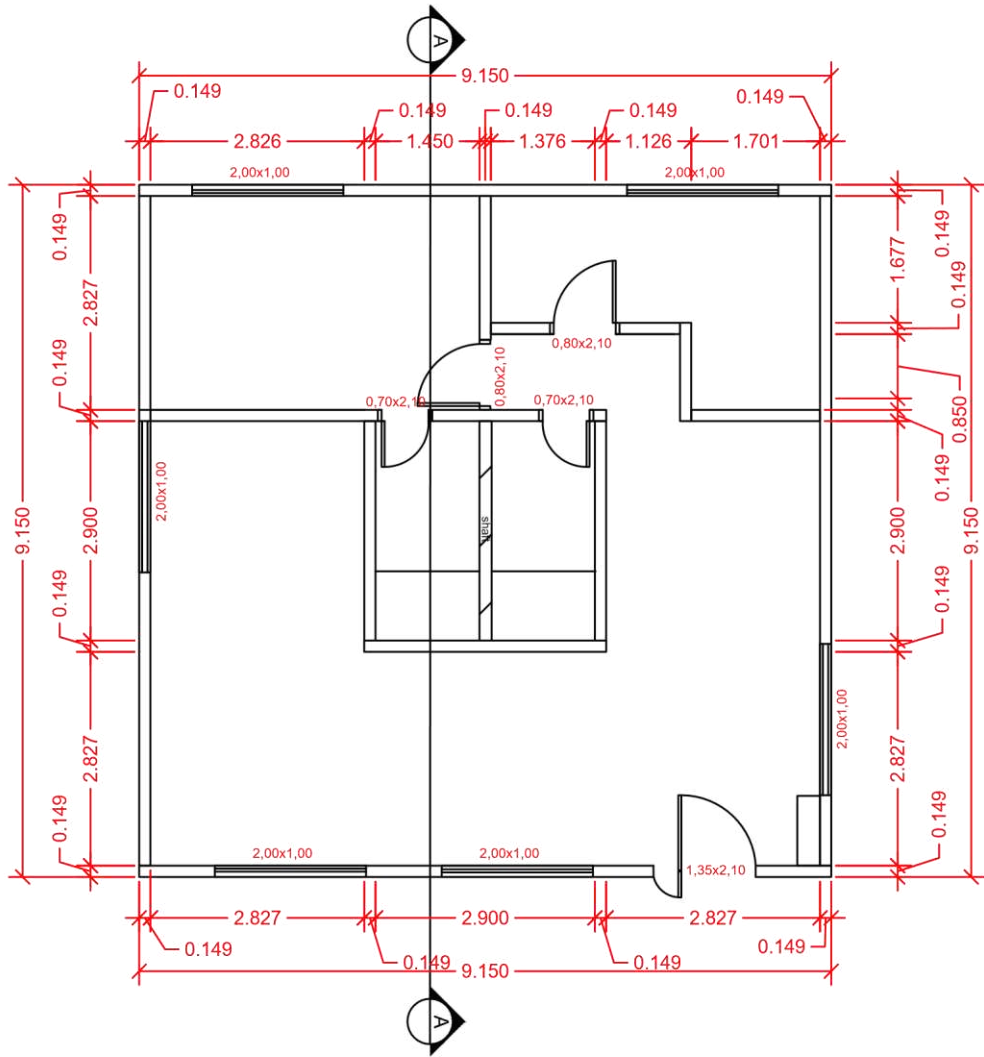
TIKKURILA. **EPD Pinja Wood Stain**. 2023. Disponível em: <https://tikkurila.com/industry/products/pinja-wood-stain>. Acesso em: 18 mar. 2025.

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Relatório de Status Global para Edificações e Construção 2023**. Nairóbi: UNEP, 2023. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 14 fev. 2025.

URBEM. **McDonald's Paraíso**. Disponível em: <https://urbembr.com/projeto/mcdonalds-paraíso/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

WARMLING, J. G.; ESPINDOLA, L. R.; ABREU, A. L. P. Elaboração de projeto BIM de uma habitação em CLT. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10

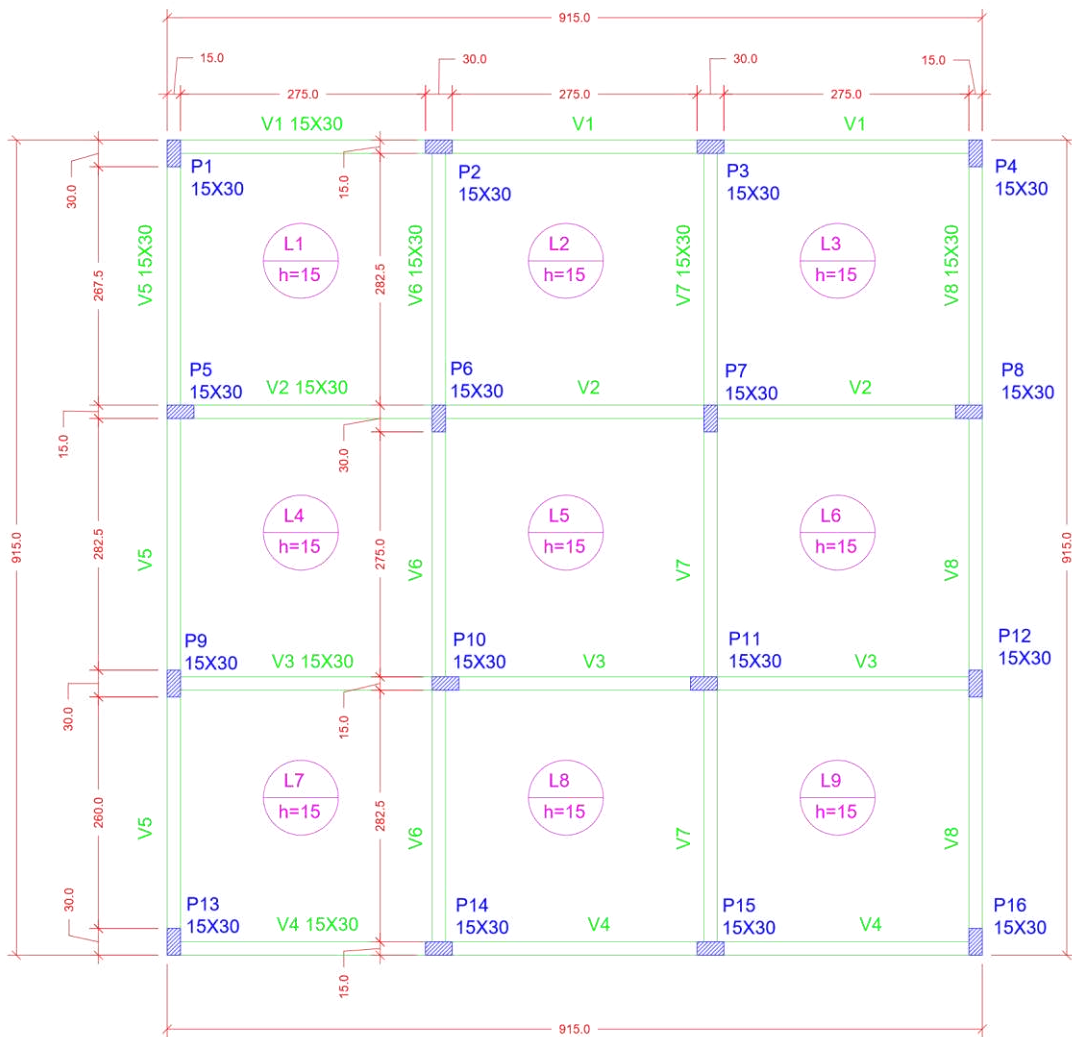
ANEXO A - Planta baixa e corte



CORTE A-A

UTFPR - UNIVERSIDADE TECNÓLOGICA FEDERAL DO PARANÁ		PRANCHA: 1/1
PLANTA BAIXA E CORTE		
ANEXO A	ESCALA 1:100	

ANEXO B - Planta baixa da construção em concreto armado



UTFPR - UNIVERSIDADE TECNÓLOGICA FEDERAL DO PARANÁ

PLANTA DA CONSTRUÇÃO EM CONCRETO ARMADO

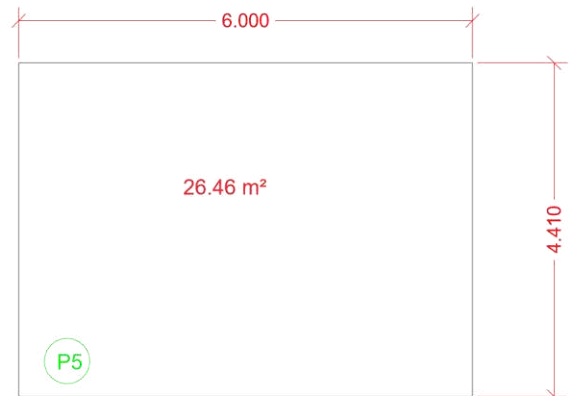
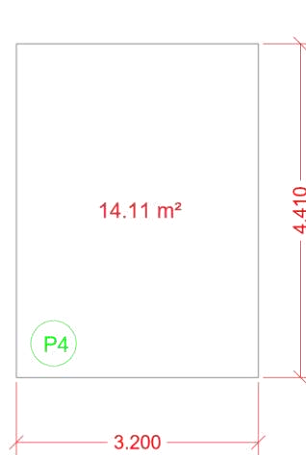
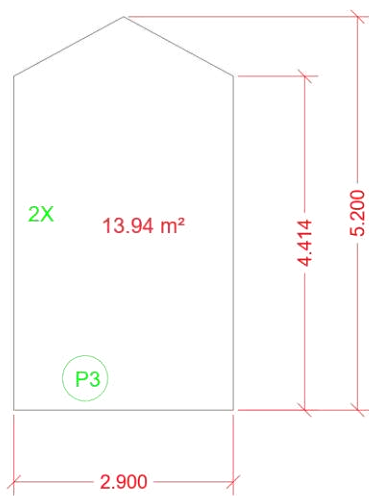
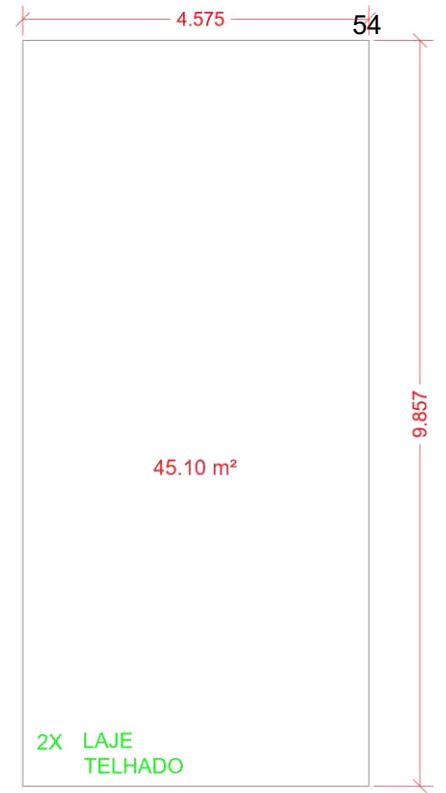
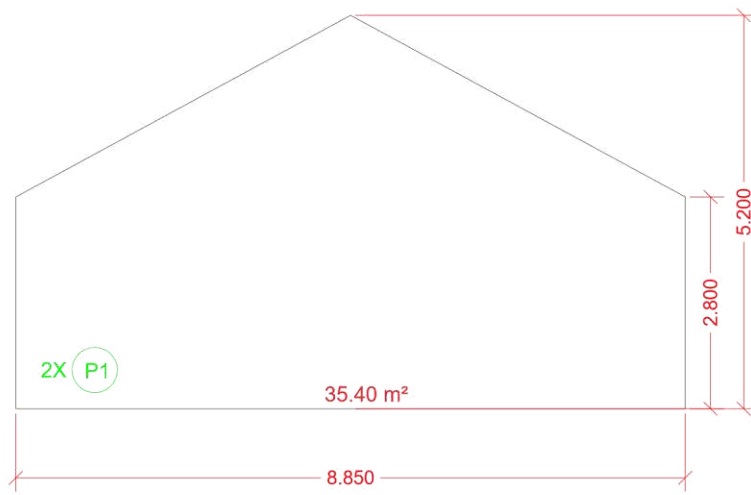
ANEXO B

ESCALA 1:75

PRANCHA:

1/1

ANEXO C - Corte dos painéis em CLT



UTFPR - UNIVERSIDADE TECNÓLOGICA FEDERAL DO PARANÁ

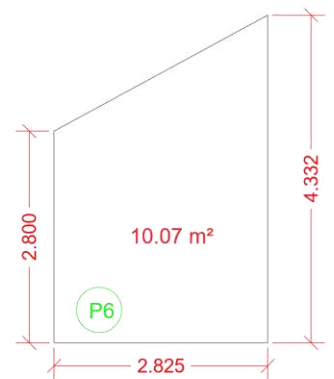
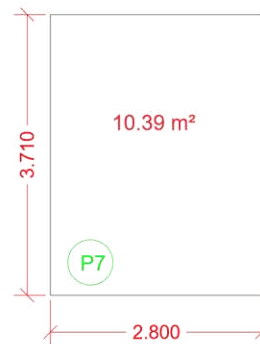
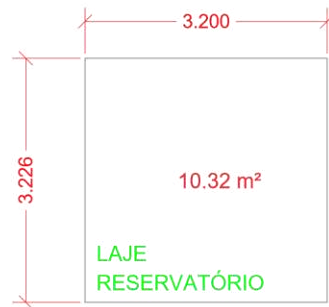
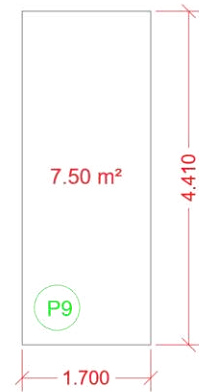
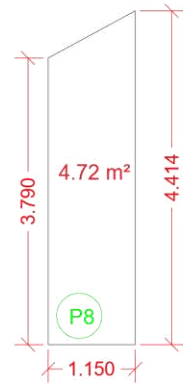
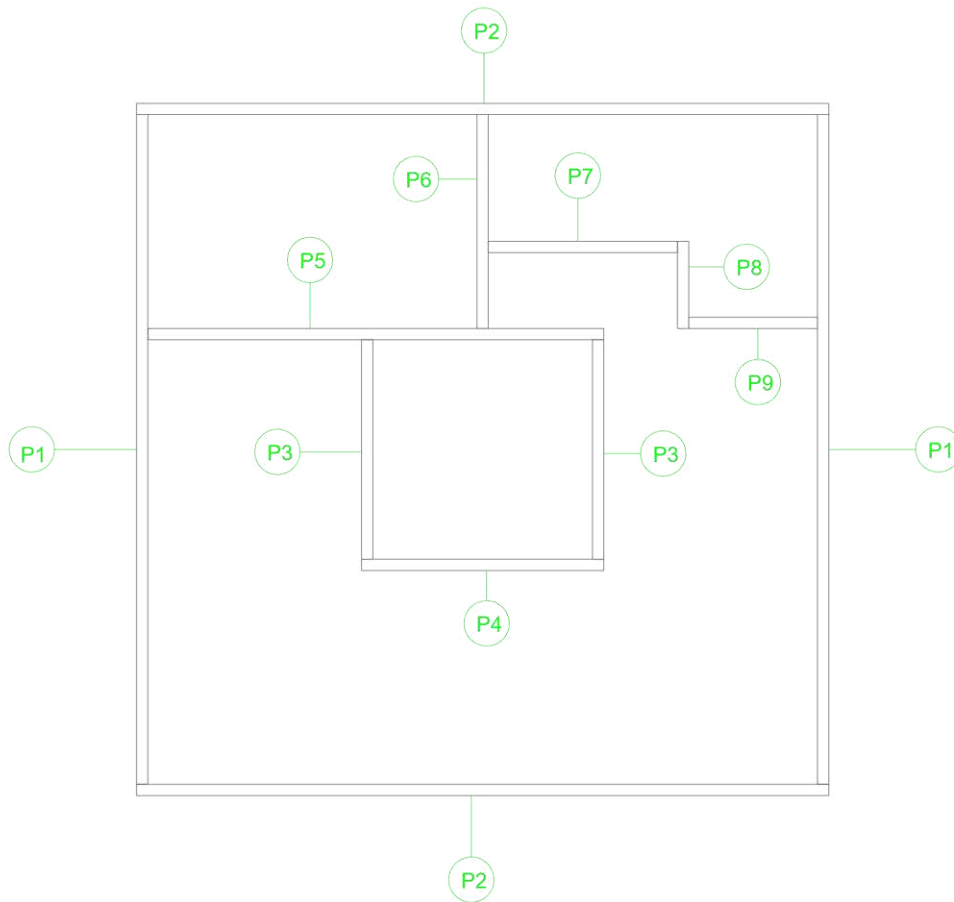
GEOMETRIA E INDICAÇÃO EM PLANTA DOS PAINÉIS EM CLT

ANEXO C

ESCALA 1:100

PRANCHA:

1/2



UTFPR - UNIVERSIDADE TECNÓLOGICA FEDERAL DO PARANÁ

GEOMETRIA E INDICAÇÃO EM PLANTA DOS PAINÉIS EM CLT

ANEXO C

ESCALA 1:100

PRANCHA:

2/2