UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
ARQ 381 - TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO II

ESTRUTURA DE MADEIRA:

REPENSANDO OS EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS

VINÍCIUS PONTES E SILVA
ORIENTADOR: DR. CLÉCIO MAGALHÃES DO VALE

OURO PRETO
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

VINÍCIUS PONTES E SILVA

ESTRUTURA DE MADEIRA:

REPENSANDO OS EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Clécio Magalhães do Vale

OURO PRETO
2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586e Silva, Vinicius Pontes e.
Estrutura de madeira [manuscrito]: repensando os edifícios de múltiplos pavimentos. / Vinicius Pontes e Silva. - 2022.
116 f.: il.: color., gráf., mapa. + Desenho Técnico.

Orientador: Prof. Dr. Clécio Magalhães do Vale.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Arquitetura e Urbanismo .

1. Madeira - Madeira engenheirada. 2. Edifícios - Múltiplos pavimentos. 3. Arquitetura - Sistemas construtivos. I. Vale, Clécio Magalhães do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

FOLHA DE APROVAÇÃO

VINICIUS PONTES E SILVA

Estrutura de madeira: repensando os edifícios de múltiplos pavimentos

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal
de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo

Aprovada em 26 de outubro de 2022

Membros da banca

Dr. CLÉCIO MAGALHÃESDO VALE - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. CLÁUDIA MARIA ARCIPRESTE - Universidade Federal de Ouro Preto
Me. MAURÍCIO LAGE ARAÚJO TEIXEIRA - (Arquiteto Autônomo)

CLÉCIO MAGALHÃES DO VALE, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 23/11/2022

Documento assinado eletronicamente por **Clecio Magalhaes do Vale**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/11/2022, às 12:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0430763** e o código CRC **F12303B0**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591594 - www.ufop.br

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO 8

2 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CIDADES CONTEMPORÂNEAS 11

2.1 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS 11

2.2 - ADENSAMENTO DAS CIDADES E VERTICALIZAÇÃO 12

3 - MADEIRA COMO ALTERNATIVA 18

4 - SISTEMA CONSTRUTIVO DE MADEIRA 23

4.1 - PROPRIEDADES DA MADEIRA 23

4.1.1 - CLASSIFICAÇÃO 23

4.1.2 - ASPECTOS MACROSCÓPICOS E MICROSCÓPICOS 24

4.1.3 - UMIDADE DA MADEIRA 26

4.1.4 - RESISTÊNCIA E RIGIDEZ 27

4.1.5 - DURABILIDADE E DETERIORAÇÃO 29

4.2 - MADEIRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO 29

4.3 - PRODUÇÃO DA MADEIRA 30

4.4 - PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS ORIGINADOS DA MADEIRA 33

4.4.1 - MLC OU GLULAM 35

4.4.2 - CLT 36

4.4.3 - LVL 36

4.5 - SISTEMA CONSTRUTIVO 38

4.5.1 - SISTEMA DE ELEMENTOS APORTICADOS 40

4.5.2 - SISTEMA DE PAINÉIS PORTANTES 43

4.5.3 - SISTEMAS MODULARES 44

4.5.4 - SISTEMAS HÍBRIDOS 44

4.5.5 - PRÉ-DIMENSIONAMENTO 45

4.6 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO 45
4.6.1 - SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO 45
4.6.2 - DESEMPENHO ACÚSTICO 48
4.6.3 - DESEMPENHO TÉRMICO E ESTANQUEIDADE 48
4.7 - ESTUDOS DE CASO E ASPECTOS TÉCNICOS RELEVANTES 49
4.8 - CONTEXTO BRASILEIRO 56
5 - PROJETO 58
5.1 - CONTEXTO 59
5.2 - PROPOSTA PROJETUAL 64
5.3 - SISTEMA CONSTRUTIVO 81
5.3.1 - MATERIAIS 81
5.3.2 - CONEXÕES 81
5.3.3 - PILARES, VIGAS E LAJES 82
5.3.4 - PAREDES INTERNAS 83
5.3.5 - FACHADAS 84
5.3.6 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO EXERCÍCIO PROJETUAL 87
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 89
REFERÊNCIAS 90
APÊNDICE 94
ANEXOS 108

RESUMO

Este Trabalho Final de Graduação teve como objetivo estudar a tecnologia construtiva de madeira e como se dá sua aplicação na construção de edifícios de múltiplos pavimentos. Por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental levantou-se informações relacionadas às mudanças climáticas, ao adensamento habitacional das cidades nesse contexto e ao impacto ambiental causado pelas tecnologias construtivas hegemônicas. Também foram realizados estudos voltados para a madeira, suas características, cadeia produtiva, processo de industrialização e como o material pode ser aplicado como uma alternativa tecnológica ambientalmente menos agressiva para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos. Com o intuito de aplicar e compreender melhor os conceitos e temáticas abordados ao longo do trabalho, realizou-se um estudo projetual de um edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira no município de Conselheiro Lafaiete – MG. Como resultado destacamos a compreensão do sistema construtivo de madeira, suas especificidades e potencialidades enquanto alterativa para a execução de edifícios de múltiplos pavimentos de forma ágil, racional e sustentável.

palavras-chave:
madeira engenheirada | edifício de múltiplos pavimentos |sistemas construtivos

ABSTRACT

This Final Graduation Work aimed to study the constructive technology of wood and how it is applied in the construction of multi-story buildings. Through a bibliographic and documental research, information related to climate change, the densification of cities in this context and the environmental impact caused by hegemonic construction technologies was collected. Studies were also carried out on wood, its characteristics, production chain, industrialization process and how the material can be applied as a sustainable technological alternative for the construction of multi-story buildings. In order to better apply and understand the concepts and themes addressed throughout the work, a design study of a multi-storey wooden structure in the city of Conselheiro Lafaiete - MG was developed. As a result, we highlight the understanding of the wooden construction system, its specificities and potentialities as an alternative for the execution of multi-story buildings in an agile, rational and sustainable way..

key words:
engineered wood | multi-storey building |building systems

1 - INTRODUÇÃO

Figura 01. Vista aérea da cidade de Toronto no Canadá.
Fonte:https://www.pexels.com/pt-br/foto/foto-aerea-de-edificios-proximos-a-corpos-d-agua-1285613/

Conforme as mudanças climáticas se tornam mais evidentes, precisamos repensar a forma com que habitamos e nos relacionamos com o planeta (GREEN; TAGGART, 2017). O relatório de mudanças climáticas, produzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) em 2014, aponta que o período de 1983 a 2012 foi o intervalo de 30 anos mais quente dos últimos 800 anos no hemisfério norte. Acompanhado do aumento da temperatura global, observamos a elevação dos níveis dos oceanos, derretimento das geleiras e com mais frequência nos deparamos com eventos climáticos extremos, como a extinção de espécies da fauna e flora, tempestades e enchentes. O planeta Terra passa por alterações climáticas inéditas e grande parte desses problemas estão diretamente relacionados às atividades humanas (DANGEL, 2017).

Nas últimas décadas a população que vive em cidades cresceu vertiginosamente, como aponta o relatório de 2018, World Urbanization Prospects, elaborado pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais (DESA) das Nações Unidas. A população urbana global passou de 751 milhões em 1950 para 4,2 bilhões em 2018, representando 55% de toda a população mundial. Estima-se que em 2050 a população urbana atingirá a marca de 7 bilhões de pessoas. Tais dados demonstram que nos próximos anos as cidades serão ainda mais relevantes e o espaço urbano precisará se adaptar às novas demandas espaciais, sociais e ambientais acarretadas pelo crescimento da população.

De acordo com as Nações Unidas, as cidades consomem 78% de toda energia produzida no planeta e são responsáveis por mais de 60% da emissão de gases de efeito estufa. O modo com que ocupamos o território amplifica os impactos da urbanização sobre o planeta. Ao contrário do modelo de cidade espraiada, dispersa e marcada por bairros monofuncionais, difundido ao longo do século XX, as cidades compactas, mais adensadas e pensadas de maneira integrada se mostram mais eficientes com relação ao consumo de recursos. Um fator positivo é a redução do uso do carro nos deslocamentos intra-urbanos (GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010).

Dessa forma, edifícios de múltiplos pavimentos são fundamentais para a construção de cidades eficientes, bem como para comportar as demandas decorrentes do crescimento da população urbana. A tipologia verticalizada permite a otimização da ocupação nos terrenos urbanos, bem como uma melhor integração e acessibilidade à infraestrutura da cidade (GIORGI, 2020).

É importante salientar, conforme Paula Tanscheit (2016), que para se alcançar grandes densidades urbanas não necessariamente precisamos de grandes corredores de arranha-céus, a exemplo do bairro Eixample, em Barcelona, que abriga 35 mil habitantes por quilômetro quadrado, densidade considerada alta, em prédios com cerca de 5 pavimentos. O centro da questão está em encontrarmos um equilíbrio, onde as cidades não sejam tão verticais a ponto de aumentarmos a dependência energética dos edifícios com demandas operacionais (consumo com elevadores, bombas, etc.) e criar uma paisagem urbana incompatível com a escala do pedestre, e nem tão horizontais, de modo a inviabilizar o adensamento urbano.

Para além da morfologia urbana, os materiais utilizados na construção civil, especialmente o concreto e o aço, despendem, em seu processo de fabricação, de uma grande quantidade de energia, comumente originada da queima de combustíveis fósseis. De acordo com Lima (2010), para se fabricar uma tonelada de cimento, no Brasil, por exemplo, são liberados na atmosfera aproximadamente 659 kg de dióxido de carbono; o aço, por sua vez, de acordo com a World Steel Association (2018), emite em média 1,85 toneladas de dióxido de carbono, um dos principais gases ligados às alterações climáticas observadas atualmente.

Se torna necessário, conforme apresentado por Aflalo (2020), buscarmos por alternativas ambientalmente menos agressivas avaliando as matérias-primas, de forma mais abrangente, para além do custo e facilidade de aquisição, observando a origem, processos de fabricação, distribuição, consumo energético e geração de resíduos. Nesse contexto, a madeira se apresenta como a matéria-prima que poderá atender, de forma satisfatória, as demandas para os novos desdobramentos da construção civil, já que é um material abundante, renovável e com qualidades estruturais interessantes, além de, ao contrário dos materiais já apresentados, durante o processo de desenvolvimento, absorver dióxido de carbono da atmosfera, característica que pode amenizar os impactos ambientais causados pelo setor (AFLALO,2020).

Este Trabalho Final de Graduação propõe estudar a tecnologia estrutural de madeira e como se dá sua aplicação na construção de edifícios de múltiplos pavimentos. De maneira específica, pretende-se compreender a madeira enquanto alternativa às tecnologias de construção hegemônicas, conhecer suas principais características, seu processo de produção, os produtos decorrentes da industrialização da madeira empregados na construção civil, os sistemas estruturais de madeira e suas especificidades para a construção de edifícios em altura, avaliar experiências de edifícios de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira, identificar diretrizes de projeto e propor um estudo projetual de um edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira.

A escolha deste tema, para além dos pontos apresentados, parte do apreço e interesse pessoal pela arquitetura construída em madeira, em especial as construções tradicionais japonesas que transcendem gerações e os projetos inspiradores do Studio Precht que conciliam a madeira com as tecnologias contemporâneas.

A metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho parte do fato de que o intuito principal se atém à compreensão da madeira como material construtivo para edifícios de múltiplos pavimentos. Por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental foram levantadas informações relacionadas às mudanças climáticas, à relevância das cidades nesse contexto e ao impacto ambiental das tecnologias construtivas hegemônicas. Posteriormente, foram levantadas informações sobre a madeira como alternativa na perspectiva da sustentabilidade, as características da madeira enquanto material construtivo, sua cadeia produtiva e processo de industrialização, conceitos, definições e avaliações relativas ao sistema construtivo de madeira. A partir de estudos, foi discutido, de maneira breve, o emprego da madeira como estrutura no contexto brasileiro, foram analisados aspectos específicos de estudos de caso de obras executadas com o sistema construtivo em questão e, com base na pesquisa, foram identificadas diretrizes para o desenvolvimento de projetos de edifícios de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira. Por fim, com o intuito de compreender melhor os conceitos e temáticas abordadas ao longo do trabalho, foi desenvolvida uma proposta projetual de um edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira na cidade de Conselheiro Lafaiete - MG, bem como análises e conclusões referentes à experiência.

Figura 02. Wood Innovation Design Centre, Candá.
Fonte:https://www.archdaily.com.br/br/774113/centro-de-design-e-inovacao-michael-green-architecture

2 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CIDADES CONTEMPORÂNEAS

Figura 03. Poluição no horizonte e torres de transmissão de energia.
Fonte:https://www.pexels.com/pt-br/foto/torres-eletricas-durante-a-hora-dourada-221012/

2.1 - Mudanças climáticas

Ao longo da história foi possível identificar grandes variações climáticas do planeta, seja na superfície terrestre ou nos oceanos. De forma cíclica, houveram momentos de aumento e redução da porção glacial do planeta, muitas das vezes, relacionadas à variações da órbita da Terra ao redor do sol e com a quantidade de radiação solar recebida em uma determinada época. No entanto, com o final da última era glacial, há cerca de sete mil anos, a superfície terrestre se tornou um lugar propício para o desenvolvimento da civilização humana (DANGEL,2017).

A agência norte-americana Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA) anunciou que as mudanças no sistema climático do planeta atingiram um marco histórico. Segundo a agência, pela primeira vez desde que a NOAA iniciou as medições da concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, os dados mensais atingiram uma média de 400 partes por milhão (ppm), o que representa um aumento de aproximadamente 120 ppm desde o início da industrialização no século XVIII (GREEN; TAGGART, 2017). Como o CO_2 corresponde a 53% do total dos gases de efeito estufa (GEE), que na atmosfera absorvem e impedem que a radiação solar seja refletida de volta para o espaço, sem eles a Terra passaria por variações extremas de temperatura, o que impossibilitaria o desenvolvimento da vida existente no planeta. No entanto, as emissões antropogênicas de dióxido de

carbono, metano, óxido nítrico e clorofluorcarbono estão chegando a concentrações inesperadas e impossibilitando que o calor se esvaia das camadas mais baixas da atmosfera (DANGEL, 2017).

O aumento recente da temperatura global é alarmante. Conforme aponta o relatório de mudanças climáticas, produzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) em 2014, o período de 1983 a 2012 foi o intervalo de 30 anos mais quente dos últimos 800 anos no hemisfério norte. A alteração dos padrões climáticos afeta diretamente o equilíbrio do ecossistema global e eventos extremos, como tempestades, secas severas, elevação do nível dos oceanos, extinção de espécies, poderão se tornar cada vez mais frequentes se a tendência se mantiver.

Como apontado anteriormente, existe um consenso da comunidade científica que as mudanças climáticas estão diretamente relacionadas com as atividades humanas (DANGEL, 2017). No entanto, é injusto nos culparmos integralmente, enquanto indivíduos, por esses problemas. Estamos inseridos em um sistema-mundo pautado na produção e acumulação de riquezas, o que acelera a exploração dos recursos naturais do planeta, bem como os impactos negativos causados pela ambição incessante do modelo de desenvolvimento vigente. Como apontam Green e Taggart, é importante olharmos para os impactos antropogênicos de forma cuidadosa, entendendo que não será apenas uma mudança individual de comportamento que amenizará os impactos ambientais vivenciados, é preciso repensar, enquanto sociedade, a forma como desenvolvemos nossas práticas comerciais e industriais (GREEN; TAGGART, 2017).

2.2- Adensamento das cidades e verticalização

A população rural no planeta, em 1950, superava a população urbana, que na época, correspondia a 751 milhões de pessoas. Esta situação se manteve até 2007, quando pela primeira vez, a população urbana superou a população rural a nível global. De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais (DESA) das Nações Unidas, a população urbana vem crescendo vertiginosamente. Em 2018 a população urbana correspondia a 55% do total de habitantes do planeta, contabilizando 4,2 bilhões de pessoas. As estimativas apontam que em 2050 a população das cidades chegará à marca de 7 bilhões de pessoas (figura 04).

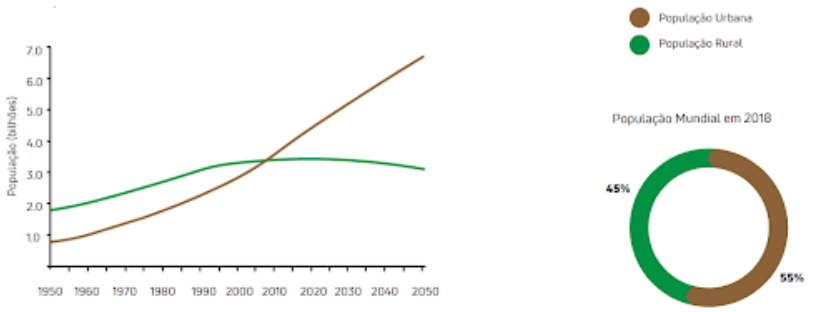


Figura 04. Variação da população rural e urbana global a partir de 1950.
Fonte: DESA, 2018 (Adaptado pelo autor).

Em 2001, as cidades consumiam três quartos de toda a energia do planeta e causavam três quartos da poluição, ou seja, o meio urbano é o centro de consumo e produção global e conforme as tendências de crescimento da população urbana se confirmem, as cidades se tornarão ainda mais relevantes no contexto ambiental do planeta (GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010).

O modelo urbano difundido ao longo do século XX, especialmente nos Estados Unidos, onde a cidade é dividida em zonas monofuncionais, com escritórios na área central, shoppings centers e áreas de lazer no perímetro da cidade e bairros residenciais isolados conectados ao conjunto por vias expressas (figura 05), gerou um processo de degradação das áreas centrais das cidades, segregação urbana e espraiamento da malha urbana. Quanto maiores as cidades, mais difícil e custoso a expansão dos sistemas de transporte público e mais dependentes do automóvel individual as cidades se tornaram. A utilização do carro como principal meio de transporte amplia os impactos ambientais causados pelas cidades, uma vez que o transporte rodoviário é responsável por uma grande parcela da poluição do ar (GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010).

Conforme apontam os estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) (Figura 06), em 2020, o setor de transportes era o maior responsável pelas emissões de poluentes, correspondendo a 27% do total, seguido do setor de produção de energia (25%) e da indústria (24%).

Figura 05. Vista aérea da Cidade de Phoenix no Arizona (EUA)
Fonte:https://www.reddit.com/r/UrbanHell/comments/gekq6s/endless_phoenix_sprawl/

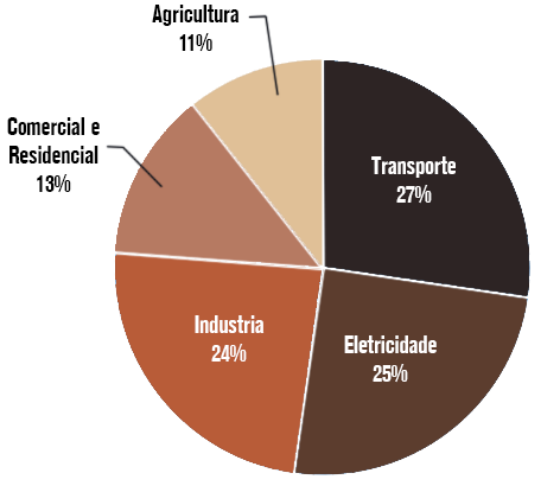


Figura 06. Total da emissão de gases de efeito estufa por setor econômico nos Estados Unidos.
Fonte: United States Environmental Protection Agency (2020)

Nesse contexto, arquitetos e urbanistas enxergam na cidade compacta uma possibilidade de criar ambientes urbanos mais eficientes do ponto de vista energético, pensadas de forma integrada, visando um menor consumo de recursos e emissões de poluentes. No livro "Cidades para um pequeno planeta", Gumuchdjian e Rogers (2010), descrevem essa cidade como uma cidade que cresce ao redor de centros multifuncionais, com atividades sociais, comerciais, residenciais e que contemplam espaços públicos (figuras 07). Além disso, as centralidades são conectadas por pontos nodais de transporte público que reduzem a necessidade de veículos individuais para os deslocamentos cotidianos (figura 08) (GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010).

No artigo intitulado "Densidade urbana: a amiga improvável do meio-ambiente" de 2022, o Movimento Somos Cidade, também defende o adensamento urbano e apresenta algumas pesquisas que relacionam o aumento da densidade urbana com a emissão de poluentes, como é o caso do levantamento realizado pelos professores Haroldo Ribeiro e Diego Rybski (2019) do Instituto Potsdam de Pesquisas sobre Impacto Climático da Alemanha, onde os pesquisadores estimaram, com base em dados dos Estados Unidos, que elevar a densidade urbana em 1% de uma localidade de 10 mil habitantes poderia reduzir a emissão de dióxido de carbono nessa região em 0,42% (RIBEIRO et al, 2019, apud SOMOS CIDADE, 2022).

O adensamento urbano, conforme observado, se mostra como uma alternativa para conciliarmos o crescimento da população urbana, as novas demandas das cidades e a mitigação de parte dos problemas ambientais. A princípio, quando pensamos em adensamento, nos vêm à mente as silhuetas dos grandes centros globais, com a paisagem marcada pelos grandes arranha-céus, como é o caso do centro de Nova Iorque nos Estados Unidos. Esta cidade, que se deu no início do século XIX, decorreu de um contexto específico, como aponta Kuchpil (KUCHPIL, 2008), onde a população urbana crescia, conquistava direitos individuais e a tecnologia avançava, culminando no surgimento da estrutura em aço e do elevador. O primeiro possibilitou a criação de edifícios com estruturas leves, esbeltas e que com grandes alturas, o segundo, possibilitou a circulação das pessoas de forma facilitada ao longo destas grandes torres que estavam sendo criadas (KUCHPIL, 2008). Nas palavras de Rem Koolhaas:

"O elevador apresentado ao público de Manhattan em 1853, converteu Nova York na cidade vertical e se constituiu no emblema máximo da condição metropolitana, já que permitiu -junto com a estrutura em aço- a construção em altura e, portanto, a multiplicação quase ilimitada da superfície de qualquer lote. Surgem assim os arranha-céus, agentes da cidade vertical e instrumento por excelência da arquitetura da densidade." (KOOLHAAS, 1977, apud KUCHPIL, 2008, p.54).

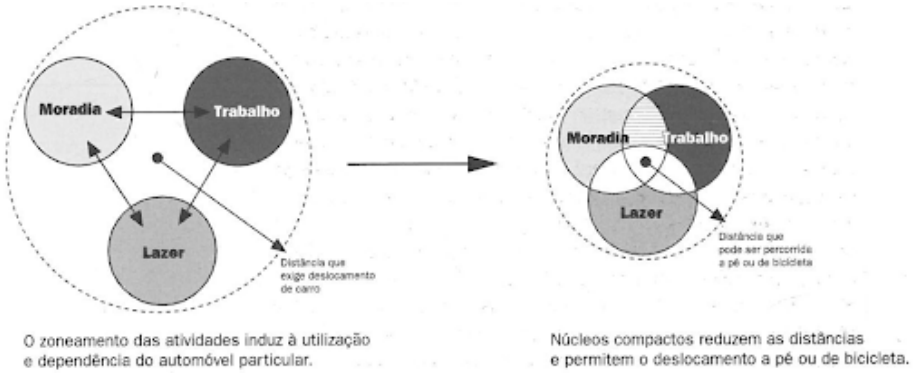


Figura 07. Modelo de cidade espraiada e modelo de cidade compacta.
Fonte: GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010

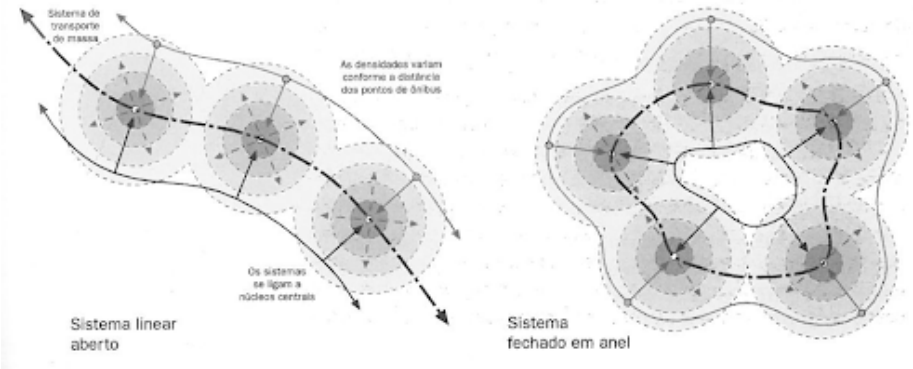


Figura 08. Núcleos multifuncionais conectados pelo sistema de transporte público.
Fonte: GUMUCHDJIAN; ROGERS, 2010

A verticalização, no entanto, se ocorrer de forma exagerada, pode ser prejudicial, tanto na questão ecológica quanto nos aspectos urbanos e sociais. Mehaffy e Alterman (MEHAFFY; ALTERMAN, 2019), apontam alguns pontos negativos para edificações que superam quinze pavimentos como o aumento da energia incorporada[1] por área de piso, principalmente por conta da utilização do aço e do concreto, exigindo mais energia para se construir cada unidade habitacional. Além disso, essas edificações possuem grandes áreas expostas aos ventos e ao sol, o que resulta em variações da temperatura, sendo necessário, em muitos casos, a utilização de mecanismos internos de compensação térmica. Em acréscimo, os edifícios altos podem demandar grandes quantidades de energia para sustentar os sistemas complementares, como bombeamento de água e elevadores. Os autores apontam malefícios do ponto de vista da psicologia, como o sentimento de isolamento em algumas populações, maiores índices de depressão e diminuição das relações sociais que ocorrem nas ruas. Ao observarmos os centros compostos por uma grande quantidade de edifícios altos, são destacados os problemas de sombreamento nas ruas, perda de visadas para o céu, aceleração dos ventos, maior concentração de poluentes no ar e dependendo da configuração dos edifícios, pode resultar na perda da vitalidade das calçadas (MEHAFFY; ALTERMAN, 2019).

Edifícios de múltiplos pavimentos são fundamentais no momento atual e, especialmente, no contexto previsto para os próximos anos por conta da tendência de crescimento populacional

urbano e de valorização das terras. No entanto, conforme apresentado, é necessário reconhecer que a verticalização exagerada pode trazer malefícios para a urbanização e para os usuários.

No contexto atual, a verticalização também está intimamente ligada à especulação imobiliária, conforme apresenta Pinheiro (2011), em regiões centrais onde o solo, muitas vezes, se encontra ocupado, a verticalização é enxergada pelos agentes imobiliários e incorporadores como uma possibilidade de multiplicação do solo e consequentemente, como uma maneira de multiplicação do capital e obtenção de lucro.

Felizmente, cidades com grandes densidades não são sinônimas de cidades constituídas por arranha-céus. É possível, como demonstra o relatório UK House of Commons da UK Urban Design Task Force (1999), alcançarmos um mesmo nível de densidade urbana com configurações distintas. Na imagem ao lado (figura 09) observamos inicialmente uma grande torre contemplando 75 apartamentos, espaços comuns e uma grande área de estacionamento, na segunda imagem observamos as mesmas unidades, dessa vez, com casas de 2 pavimentos distribuídas de forma ortogonal no terreno, vias comuns e jardins privativos, e por fim, no terceiro exemplo, observamos o mesmo número de unidades com uma distribuição heterogênea, formado por edificações de 3 pavimentos com várias tipologias e usos, que contemplam jardins privativos, espaços comuns. e um grande jardim central. Como pontua Paula Tanscheit (2016):

"Quadras podem abrigar diversas edificações de baixa e média altura e atingir grandes densidades. Talvez a melhor forma de ilustrar isso seja o bairro Eixample, em Barcelona, que abriga 35 mil habitantes por quilômetro quadrado (densidade considerada alta) – em prédios de cinco andares na média. Outra boa reflexão é comparar Paris e Manhattan, por exemplo. Ambas metrópoles com altas densidades, a primeira com 21.616 pessoas por quilômetro quadrado e a segunda com 27.812 pessoas por quilômetro quadrado, possuem vistas panorâmicas completamente diferentes." (TANSCHEIT, 2016).

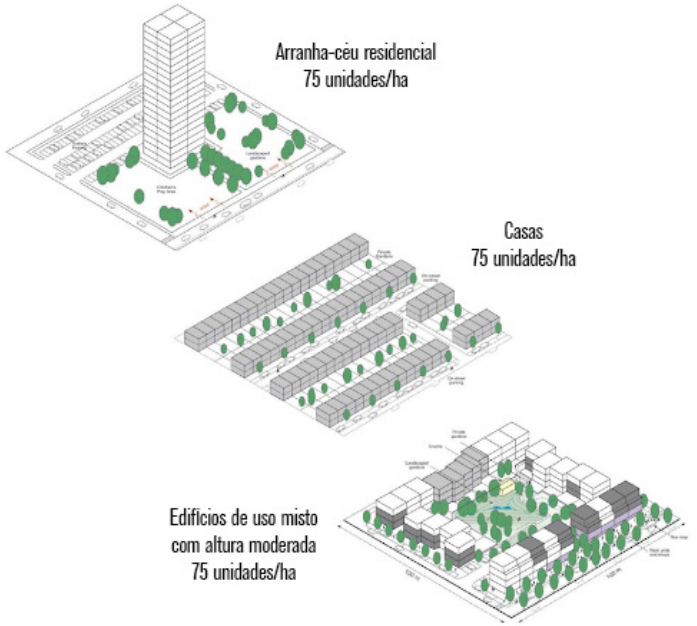


Figura 09. As várias formas de se atingir uma cidade adensada.
Fonte: Urban Task Force, 1999 (adaptado pelo autor)

Estipular qual a densidade ideal para uma determinada região é algo complexo e que exige a análise de diversas variáveis, sejam variáveis relacionadas à eficiência energética, à disponibilidade de infraestrutura, à forma dos espaços urbanos ou mesmo questões sociais e culturais. Lloyd Alter, no artigo intitulado "Cities need Goldilocks housing density - not too high or low, but just right", publicado no The Guardian em 2014, apresenta o que para ele seria a densidade "Cachinhos Dourados":

"[...] densa o suficiente para suportar ruas vibrantes com comércio e serviços para as necessidades locais, mas não tão alta que as pessoas não possam subir as escadas em um aperto. Densa o suficiente para suportar infraestrutura de bicicletas e trânsito, mas não tão densa para precisar de metrôs e enormes garagens subterrâneas. Denso o suficiente para construir um senso de comunidade, mas não tão denso a ponto de fazer com que todos caiam no anonimato"(ALTER, 2014, tradução nossa).[2]

Conforme apresentado, o adensamento da cidade é algo a ser buscado e investigar formas de se adensar é fundamental para a manutenção da saúde das cidades durante o processo de crescimento. Nesse sentido, entendendo que a verticalização exagerada pode trazer diversos problemas para a cidade, para os próprios usuários e não correspondem à única forma de se construir cidades eficientes, nas etapas seguintes, especialmente no capítulo 5, estudarei a aplicação do sistema estrutural de madeira para edificações de múltiplos pavimentos com enfoque em edifícios com altimetrias moderadas.

[1] Energia incorporada se refere ao total de energia empregado para extração, produção e distribuição de determinado produto.

[2] "(...) dense enough to support vibrant main streets with retail and services for local needs, but not too high that people can't take the stairs in a pinch. Dense enough to support bike and transit infrastructure, but not so dense to need subways and huge underground parking garages. Dense enough to build a sense of community, but not so dense as to have everyone slip into anonymity."(ALTER, 2014).

3 - MADEIRA COMO ALTERNATIVA

Figura 10. Etapas do ciclo de vida de um edifício.
Fonte: TAKANO et al, 2015 (adaptado pelo autor)

O relatório "Buildings and Climate Change", publicado pela UNEP (2009), aponta que 40% do total de toda energia utilizada no planeta foi consumida no setor da construção. Materiais como alumínio, cimento e aço despendem uma grande quantidade de energia para serem produzidos. Conforme apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que presta serviços para o Ministério de Minas e Energia do Brasil, 86% de toda a energia consumida globalmente, no ano de 2019, deriva de fontes não renováveis, especialmente do petróleo, carvão mineral e gás natural. Tais dados demonstram que para além das reflexões referentes ao planejamento urbano e a morfologia dos edifícios, é importante pensarmos a respeito da eficiência das edificações e como os materiais empregados no processo construtivo impactam o ecossistema do planeta (UNEP, 2009).

A avaliação de ciclo de vida (ACV) é um método utilizado para quantificar o impacto ambiental dos produtos e possibilitar a comparação dos mesmos. No caso de edifícios, a ACV é dividida em quatro etapas (figura 10). Inicialmente é avaliado o processo de produção dos materiais, englobando a procedência dos mesmo, os processos de manufatura e transporte; seguido da etapa de construção, com avaliações referentes ao transporte e ao processo construtivo; da etapa de uso, que engloba o período de uso do edifício, contando com manutenção, reparos, substituições e consumo operacional da edificação e por fim, a finalização da vida útil, com o processo de demolição, gestão e transporte dos resíduos (TAKANO et al, 2015).

Cada material apresenta características próprias e responderá de maneira distinta para uma mesma demanda funcional. Kolb (2008), apresenta um comparativo de diversos materiais (figura 11), avaliando o consumo energético e a quantidade de material necessário para se construir um pilar de 3m que suporte um carregamento preestabelecido. Os resultados demonstram que o pilar de aço é a peça com maior consumo energético, dentre os pilares analisados, demandando cerca de 561 kWh para ser produzido; o pilar de concreto armado, por sua vez, tem uma demanda menor de energia, cerca de 227 kWh; seguido do pilar de tijolo com 420 kWh e de madeira com 60 kWh. Outro aspecto interessante da pesquisa é o peso de cada peça, característica que se torna relevante no consumo de recursos, seja por conta dos incrementos estruturais para suportar o aumento das cargas ou pela dificuldade de transporte e manuseio desses materiais ao longo da vida útil. Nesse aspecto, o pilar de tijolo é a peça que necessita da maior quantidade de material (60 kg); seguido do pilar de concreto armado (300 kg); do aço (78 kg) e da madeira (60 kg). Com base nesses dados, observamos que a madeira se apresenta como o material com as melhores características do ponto de vista do consumo energético e de material dentre os sistemas analisados (KOLB, 2008).

A avaliação do ciclo de vida, além de considerar aspectos referentes ao consumo energético e a quantidade de material utilizado, avalia as emissões de gases de efeito estufa, a quantidade de energia proveniente de fontes não renováveis, destruição da camada de ozônio, potencial de poluição atmosférica, acidificação e eutrofização (HAFNER et al, 2018). Conforme discutido ao longo do capítulo 2, as emissões antropogênicas de CO_2 influenciam diretamente no fenômeno do efeito estufa. Hafner e König (2018) apontam que a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera pode ser reduzida de duas maneiras: a primeira é reduzir as emissões

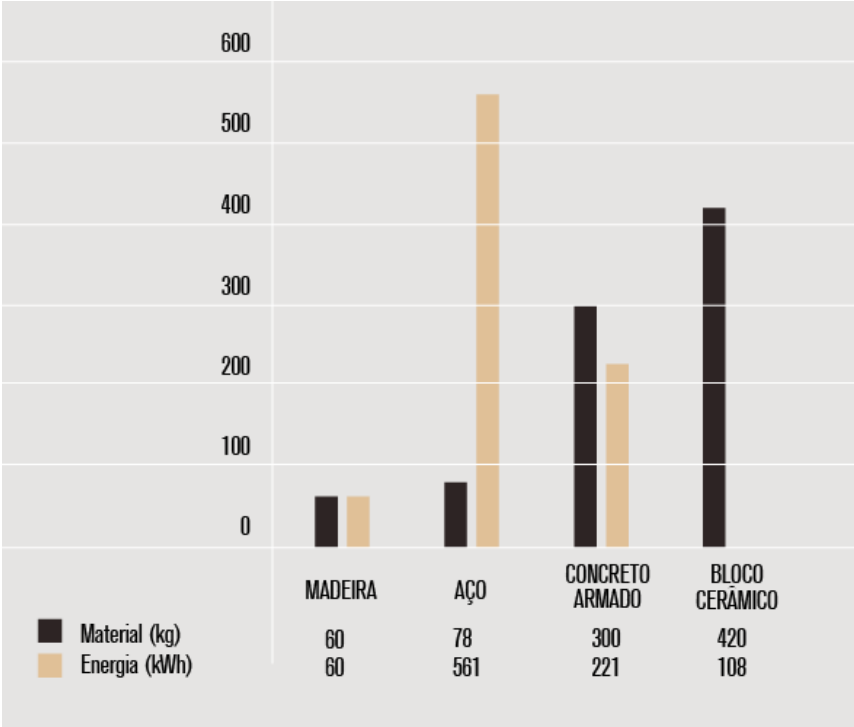


Figura 11: Uma comparação da energia necessária para se produzir uma coluna de 3m suportando um mesmo carregamento.
Fonte: KOLB 2008 (adaptado pelo autor)

de CO_2 e a segunda retirando o gás da atmosfera. Segundo os autores, a madeira possui a habilidade ímpar de contribuir de ambas as maneiras, seja reduzindo as emissões através da substituição dos materiais convencionais ou retirando, de maneira temporária, o CO_2 da atmosfera.

Durante o processo de crescimento as árvores absorvem o CO_2 da atmosfera e o armazenam no interior da madeira na forma de carbono biogênico por um longo período de tempo. Esse processo de captura e armazenamento do dióxido de carbono é chamado de sequestro de carbono. O carbono capturado só retorna para atmosfera após a morte e decomposição das árvores ou após a queima da madeira. Quando uma árvore é cortada para a produção de um edifício estruturado pela madeira, por exemplo, o carbono armazenado na madeira ao longo do crescimento da árvore se manterá armazenado nas peças da edificação ao longo da vida útil dos produtos. Se o manejo das florestas destinada à extração for feito de forma sustentável, como veremos posteriormente (ver subcapítulo 4.3), cada árvore cortada liberará espaço para o plantio e crescimento de uma nova, o que permite a ampliação do potencial de captura de carbono da floresta (figura 12) (DANGEL,2017).

Cada espécie de árvore absorve quantidades diferentes de carbono , conforme apresentado na cartilha Building with wood = The active for climate protection produzida pela Universidade Técnica de Munique (2021), dentro da composição de 1m³ de madeira seca, em média, existem cerca de 250 kg de carbono, o que equivale à aproximadamente 900 kg de CO_2.

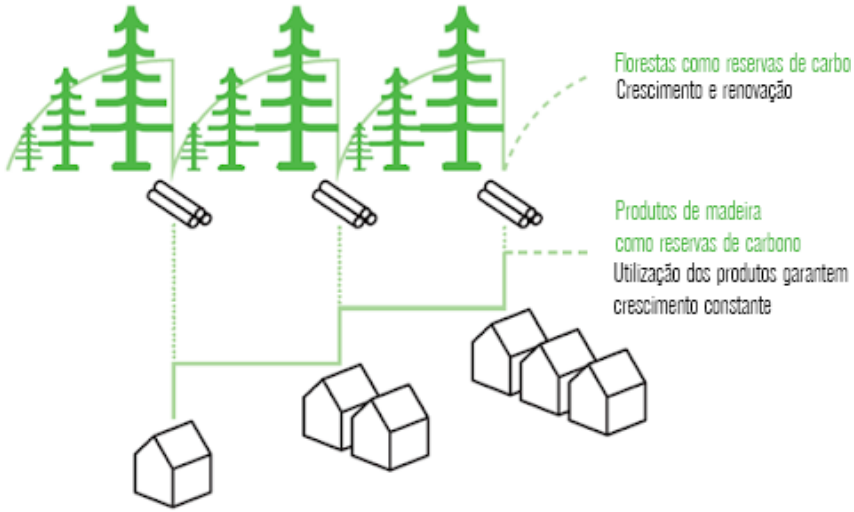


Figura 12: Aumento da retenção de carbono ao longo do tempo construindo novas edificações e preservando as antigas.
Fonte: Universidade Técnica de Munique 2021

De acordo com Dangel (2017), estudos recentes de avaliação do ciclo de vida demonstram que edifícios de madeira além de possuírem menor energia incorporada, como apresentado anteriormente, são substancialmente menos agressivos do ponto de vista da emissão de dióxido de carbono. O gráfico a seguir (figura 13) apresenta a relação de kg de CO_2 equivalente³ por kg do material de construção. Kolb (2008), destaca que ao contrário dos outros materiais, a madeira é o único material, dentre os analisados, que absorvem o dióxido de carbono durante o processo de produção.

Tendo em vista que grande parte do material utilizado para a construção das edificações estão alocados nos sistemas estruturais, utilizar a madeira como o principal material estrutural dos edifícios pode trazer reduções significativas do consumo de energia e consequentemente reduzir a concentração de CO_2 na atmosfera. A figura 14 apresenta um comparativo proporcional da avaliação do ciclo de vida das edificações com base no material primário da construção. Apesar de não explicitarem valores de referência, Green e Taggart (2017), apresentam, de forma comparativa, o impacto proporcional de cada material em diversos aspectos. Podemos observar que em todos os fatores de avaliação o concreto é pontuado como o material ambientalmente mais problemático, seguido do aço e da madeira.

Ao contrário dos materiais não renováveis, a madeira pode participar de um modelo de utilização em cascata ao longo do seu ciclo de vida. A mesma cartilha da Universidade Técnica de Munique (2021) demonstra como ocorre este processo. A partir do momento em que as peças de uma edificação não servem mais para o propósito para o qual foram criadas, elas podem se transformar na matéria prima para outros produtos, que futuramente poderão ser reprocessados, transformados em outros objetos, até que por fim, quando não for mais possível reaproveitá-la em forma de produto, poderá ser utilizada como fonte de energia. A figura 15 ilustra as diversas formas que uma mesma peça de madeira pode tomar ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração até a utilização da madeira como fonte de energia.

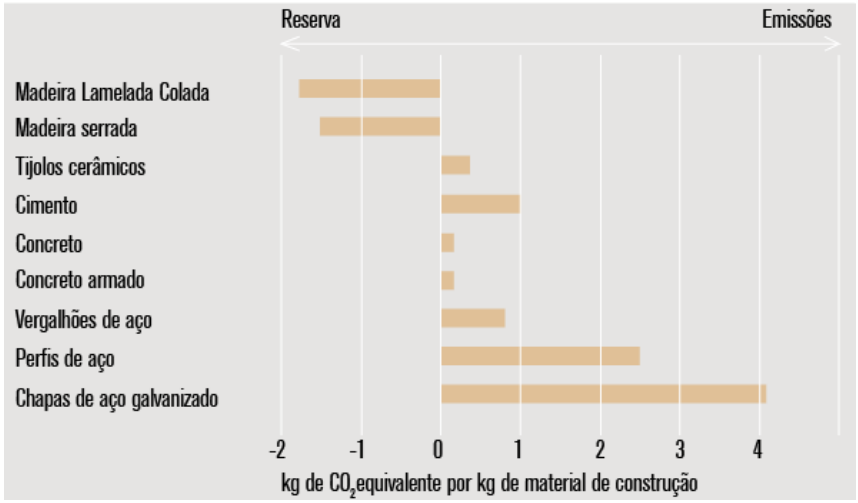


Figura 13: Relação de CO_2 equivalente por kg de material de construção.
Fonte: Kolb, 2008

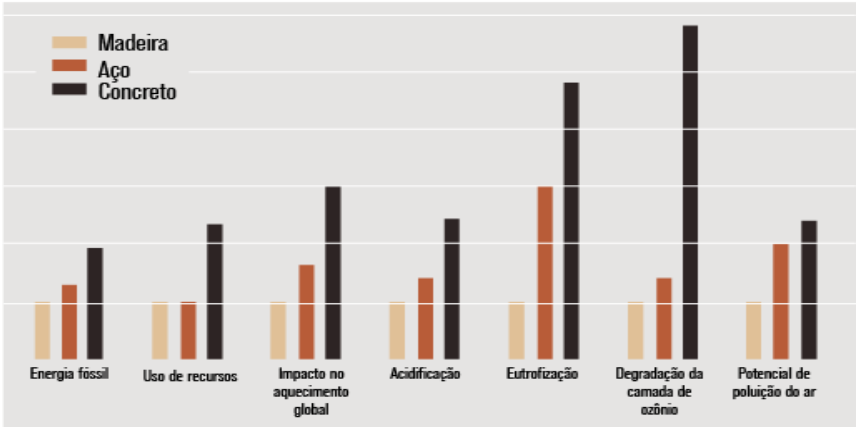


Figura 14: Comparativo da avaliação de ciclo de vida de edificações com base no material
Fonte: Green; Taggart, 2017

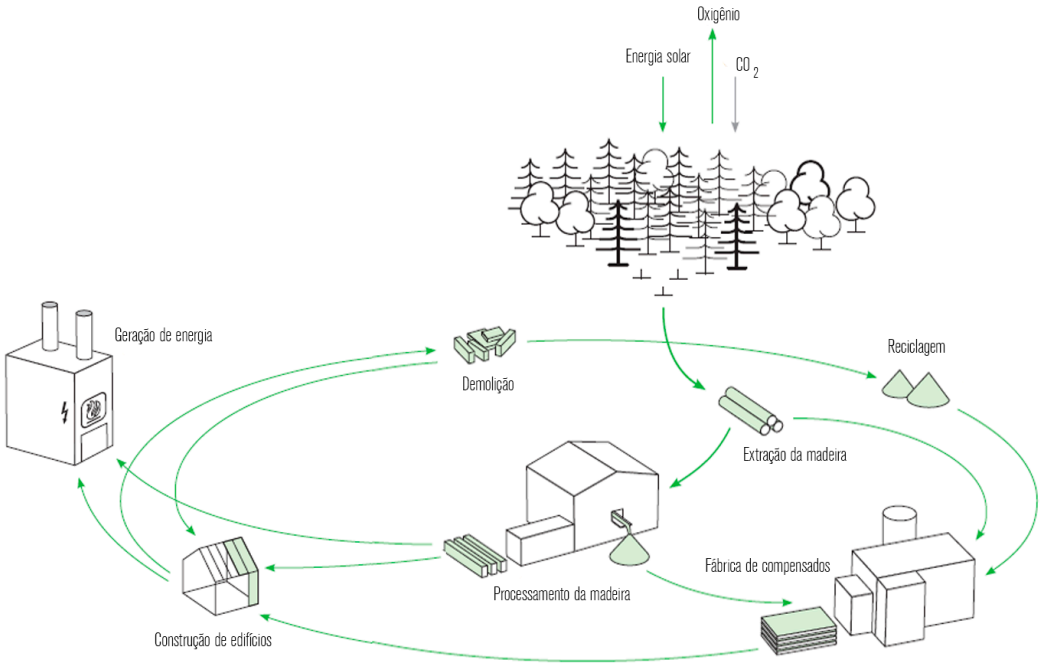


Figura 15: Ciclo de vida da madeira.
Fonte: Universidade Técnica de Munique, 2021

É importa frisar, conforme conclui Shigue (2018), que para a efetiva redução das emissões de gases de efeito estufa proporcionadas pela utilização da madeira na construção civil, é necessário a renovação e manejo adequados das áreas florestais destinadas à extração da madeira (ver subcapítulo 4.3), bem como levar em consideração pontos abordados anteriormente, como a vida útil da edificação, a possibilidade de reutilização da matéria-prima e as distâncias percorridas durante o processo (SHIGUE, 2018).

Levando em consideração os pontos e ressalvas levantados ao longo do capítulo, a madeira se mostra como uma ótima alternativa às tecnologias empregadas no setor da construção civil. Giorgi (2020), destaca outros pontos relativos às oportunidades de se construir edificações de múltiplos pavimentos em madeira. Segundo ele, construções de madeira são mais leves devido a fatores de resistência e peso das peças estruturais, o que possibilita a construção de fundações mais leves e com menor consumo de concreto. Além disso, as construções de madeira, contemplam processos de pré-fabricação, o que torna o processo de construção mais limpo, eficiente e com menos desperdícios (GIORGI, 2020).

[3] CO_2 equivalente : Segundo a definição do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM): "O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do gás carbônico (CO_2). Então, dizemos que o CO_2 equivalente do metano é igual a 21." (IPAM, 2015).

4 - SISTEMA CONSTRUTIVO DE MADEIRA

Figura 16. Detalhe dos encaixes da estrutura do edifício Tamedia na Suiça.
Fonte:https://www.archdaily.com.br/br/01-181822/premio-pritzker-2014-edificio-comercial-tamedia-slash-shigeru-ban-architects

4.1 - Propriedades da madeira

4.1.1 - Classificações

A madeira é um material orgânico, fato que confere grande complexidade para compreensão do seu comportamento enquanto elemento estrutural. Como pontua Calil (2003), condições de temperatura, composição e umidade do solo no local de crescimento da árvore, modo de manejo e incidência de chuvas influenciam diretamente nas características do material. O intuito deste subcapítulo é apresentar algumas definições e características gerais relacionadas à madeira, bem como propriedades importantes para a construção civil como resistência e durabilidade do material.

As madeiras utilizadas na construção são provenientes de dois tipos de árvores, coníferas e dicotiledôneas. Cada grupo apresenta características botânicas específicas. As coníferas, da classe gimnosperma, são comumente chamadas de madeiras moles (softwoods). Apresentam crescimento rápido, possuem folhas perenes em formato de escamas e agulhas, possuem flores sem pétalas e são comumente encontradas em climas mais frios. Alguns exemplos: pinheiro, cipreste, espruce (CALIL, 2003).

As dicotiledôneas, por sua vez, da classe angiosperma, são usualmente designadas de madeiras duras (hardwoods), são árvores frondosas, que geralmente perdem suas folhas no outono, são espécies que demoram muito tempo para se desenvolverem, possuem uma grande diversidade de forma, texturas e cores

(PFEIL, 2003). Conforme aponta Calil (2003), as dicotiledôneas constituem quase a totalidade das espécies encontradas em florestas tropicais. Alguns exemplos são o ipê, mogno, cedro, angelim e o freijó. As árvores do gênero Eucalyptus, muito utilizadas no setor da construção civil, também pertencem às dicotiledôneas. As categorias apresentadas se distinguem pelas características botânicas e estrutura celular dos troncos e não devido à resistência. Algumas dicotiledôneas produzem madeira menos resistentes que o pinho, por exemplo (PFEIL, 2003).

4.1.2 - Aspectos macroscópicos e microscópicos

Para compreender o comportamento do material e os cuidados necessários ao se trabalhar com a madeira é interessante observar aspectos microscópicos e macroscópicos da anatomia das árvores. Segundo Calil (2003), diversos órgãos desempenham funções distintas no organismo das árvores. A água, por exemplo, é absorvida do solo pelas raízes, enquanto as folhas absorvem o gás carbônico da atmosfera; o tronco, por sua vez, serve como elemento de sustentação e diversos outros elementos atuam de forma específica para a sobrevivência do vegetal.

O crescimento das árvores se dá de forma exogênica, ou seja, o vegetal cresce conforme novas camadas externas são adicionadas sob a casca (PFEIL,2003). Analisando a seção transversal de um tronco através da perspectiva macroscópica, podemos verificar a existência de algumas camadas conforme apresentado na figura ao lado (figura 17).

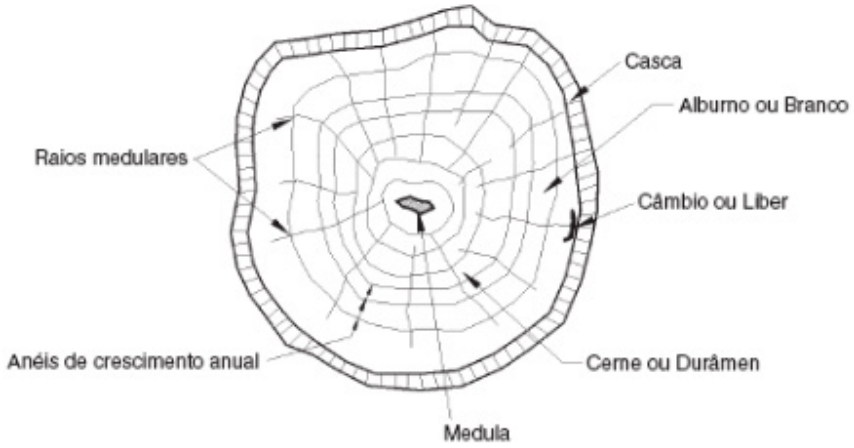


Figura 17: Seção transversal de um tronco.
Fonte: PFEIL, ,2003.

Conforme as definições de Pfeil (2003), a casca é formada por duas camadas, uma externa e morta, com espessura que varia conforme a espécie e a idade do vegetal e uma camada fina localizada na parte interna, se caracterizando como um tecido vivo e macio que conduz alimento preparado nas folhas para as partes em crescimento. A adição de anéis na estrutura da árvore, ocorre na região sob a casca, denominada câmbio ou líber[4]. Seguindo para o interior do tronco, encontramos o alburno, que é uma camada formada de células vivas que conduzem a seiva no sentido ascendente, das raízes para as folhas. As células vivas do alburno, com o tempo se tornam inativas, se apresentam com coloração mais escura e passam a constituir o cerne que tem função de sustentar o

tronco. Por fim, na porção central, encontra-se a medula, constituída por um tecido macio e que origina o crescimento dos novos ramos da árvore (PFEIL, 2003).

De acordo com Calil (2003), do ponto de vista microscópico, é possível observar duas formações básicas nas coníferas (figura 18), os traqueídes e os raios medulares. Os traqueídes são células alongadas com comunicação pelas extremidades e que podem constituir 95% da madeira encontrada nas coníferas, possuem função de transporte da seiva, servir como depósito de substâncias poliméricas e atribuir resistência mecânica à madeira. Os raios medulares, são conjuntos de células achatadas e alongadas, encontradas desde a casca à medula e têm como principal função conduzir a seiva elaborada da periferia do tronco em direção ao centro (CALIL, 2003).

As dicotiledôneas, segundo Calil (2003), apresentam uma estrutura mais complexa (figura 19), com três elementos principais: vasos, fibras e raios medulares. Os vasos são células alongadas, com seções transversais arredondadas, vazadas e podem representar até 50% da estrutura da madeira das dicotiledôneas, têm como função principal o transporte ascendente da seiva bruta e de depósito de substâncias poliméricas. As fibras são elementos fechados e com paredes mais espessas do que as encontradas nos vasos. Assim como os vasos, dependendo da espécie, podem constituir 50% da estrutura da madeira das dicotiledôneas, sendo o elemento principal no que diz respeito à conferência de resistência mecânica e rigidez da madeira. Os raios medulares das dicotiledôneas se comportam de forma semelhante aos das coníferas. (CALIL, 2003).

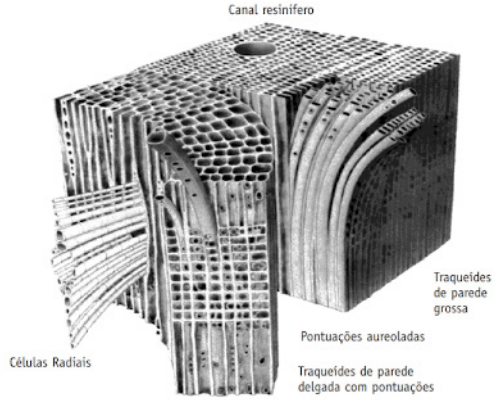


Figura 18: Aspectos microscópicos da estrutura das coníferas.
Fonte: TAYLOR, 1978 apud CALIL,2003.

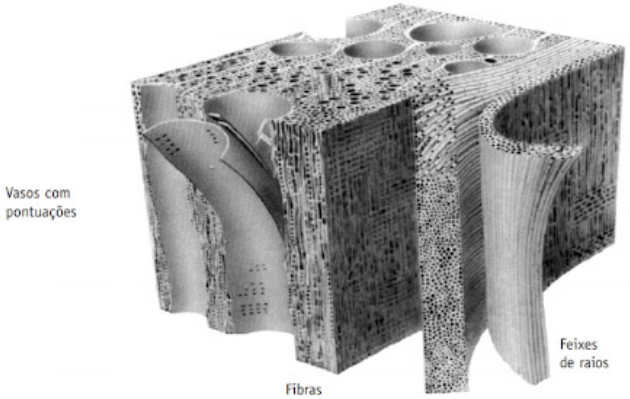


Figura 19: Aspectos microscópicos da estrutura das dicotiledôneas.
Fonte: TAYLOR, 1978 apud CALIL,2003.

[4] É no câmbio que as células se reproduzem, algumas células se transformam em tecido permanente, regenerando a casca ou formando a madeira. As células originadas no câmbio seguem esquemas distintos para as coníferas (traqueídes e raios medulares) e dicotiledôneas (vasos, fibras e raios medulares) (PFEIL,2003).

4.1.3 - Umidade da madeira

Um dos principais parâmetros a serem avaliados para a utilização da madeira é a umidade já que a presença de água em sua estrutura implica diretamente nas propriedades físicas do material. A madeira é um material higroscópico, ou seja, que continuamente realiza trocas de água com o ambiente externo, buscando um ponto de equilíbrio com o exterior . A água pode ser encontrada em duas formas, na forma de umidade livre ou umidade retida. A primeira, diz respeito à água contida nos vazios presentes no interior das células e se mantém da madeira somente por conta de forças de capilaridade, sendo facilmente removida através do processo de secagem. A saída da água livre não interfere na estabilidade nem nas propriedades físicas do material. Já a umidade retida, é a umidade que naturalmente se encontra no interior das paredes celulares e exige uma grande quantidade de energia para ser removida, além de ocasionar alterações significativas nas propriedades da madeira (GIORGI, 2020).

Para a avaliação da umidade, o conceito de grau de umidade é comumente abordado, tal conceito relaciona a massa de água contida na madeira com a massa da madeira seca em estufa. O valor do grau de umidade é expresso através de um resultado percentual (U%). Quando a madeira é colocada para secar, o intuito é evaporar apenas água livre, atingindo o ponto de saturação (aproximadamente U%=30%) (PFEIL, 2003). Após atingir o ponto de saturação, a secagem prossegue com menor velocidade até atingir o nível de umidade de equilíbrio, que varia conforme a espécie, a temperatura e a umidade relativa do ar. Calil (2003), aponta que de acordo com a NBR 7190/1997 o valor de referência para a umidade de equilíbrio é 12%, valor relativo à temperatura de 20 ºC e umidade relativa do ar igual a 65% (CALIL, 2003).

A madeira é anisotrópica, o que significa que reage de forma distinta conforme a direção das ações incidentes sobre o material, no caso da madeira, nas direções longitudinal ou axial, radial e tangencial, conforme apresentado na figura 20 (CALIL, 2003). A variação da umidade, por exemplo, causa efeitos de retração e inchamento na madeira e atua de forma distinta em cada uma das direções, sendo as direções tangencial e radial as mais afetadas (PFEIL, 2003).

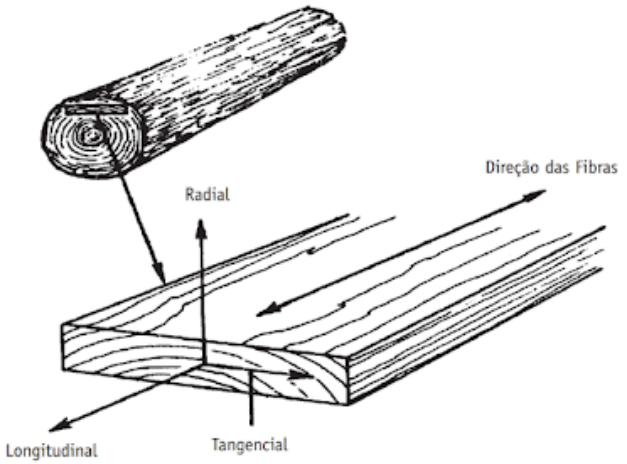


Figura 20: Ilustração demonstrando as principais direções da madeira.
Fonte:RITTER, 1990 apud CALIL,2003

O aspecto anisotrópico da madeira tem grande relevância ao analisarmos as propriedades de resistência e elasticidade do material. A direção dos esforços bem como a disposição dos elementos que conferem resistência mecânica às peças, especialmente fibras (dicotiledôneas) e traqueídes (coníferas). A direção longitudinal das peças é a mesma da orientação das fibras, comumente chamada de direção paralela às fibras, apresenta os maiores valores de resistência e rigidez. A direção normal, chamada de perpendicular às fibras, se refere às direções radial e tangencial e apresentam valores próximos de resistência e rigidez, no entanto, muito inferiores à resistência da direção paralela às fibras (CALIL, 2003).

4.1.4 - Resistência e rigidez

O aspecto anisotrópico da madeira tem grande relevância ao analisarmos as propriedades de resistência e elasticidade do material. A direção dos esforços bem como a disposição dos elementos que conferem resistência mecânica às peças, especialmente fibras (dicotiledôneas) e traqueídes (coníferas). A direção longitudinal das peças é a mesma da orientação das fibras, comumente chamada de direção paralela às fibras, apresenta os maiores valores de resistência e rigidez. A direção normal, chamada de perpendicular às fibras, se refere às direções radial e tangencial e apresentam valores próximos de resistência e rigidez, no entanto, muito inferiores à resistência da direção paralela às fibras (CALIL, 2003).

A madeira resiste bem aos esforços de compressão direcionados paralelamente às fibras, onde possui maior resistência. Por outro lado, esforços de compressão perpendiculares às fibras podem provocar esmagamento da peça, tendo em vista que o material não apresenta tanta resistência à compressão normal às fibras (CALIL, 2003). A figura 21 ilustra o comportamento a cada um desses esforços. Assim como na compressão, no caso da tração paralela às fibras a madeira apresenta valores elevados de resistência e no caso da resistência à tração perpendicular às fibras apresenta baixos valores de referência (figura 21) (CALIL, 2003).

A madeira possui comportamentos distintos com relação aos esforços de cisalhamento de acordo com o plano de atuação das forças. Quando o plano é perpendicular às fibras, o material apresenta alta resistência. Por outro lado, no caso de esforços paralelos às fibras, dois são os cenários possíveis. O primeiro, quando a direção do cisalhamento é igual à direção das fibras ocorre o cisalhamento horizontal, que representa o pior caso, onde a madeira possui menor resistência. O segundo ocorre quando as tensões são perpendiculares às fibras, acarretando o cisalhamento rolling quando as fibras rolam umas sobre as outras. Na figura 22 estão representados respectivamente (da esquerda para a direita) os esforços de cisalhamento perpendicular às fibras, cisalhamento horizontal e rolling (CALIL, 2003).

A tabela abaixo (figura 24) apresenta o comportamento da madeira em comparação com o concreto e o aço. Observamos que os valores referentes à madeira são apresentados no formato de intervalos, isso ocorre devido a variação das propriedades conforme os aspectos apresentados anteriormente. Como podemos observar a madeira apresenta valores relativamente altos em ambos os esforços analisados, em alguns casos, a madeira pode superar o concreto no aspecto da resistência à compressão. De maneira geral, por conta de sua baixa densidade e alta resistência, a madeira apresenta uma excelente relação entre resistência e massa, se destacando entre os materiais apresentados.

Material	ρ(t/m³)	f(MPa)	f/ρ
Madeira a tração	0,5–1,2	30–110	60–90
Madeira a compressão	0,5–1,2	30–60	50–60
Aço a tração	7,85	250	32
Concreto a compressão	2,5	40	16

Nota: ρ = massa específica; f = resistência característica.

Figura 24: Ilustração demonstrando as principais direções da madeira.
Fonte:RITTER, 1990 apud CALIL,2003

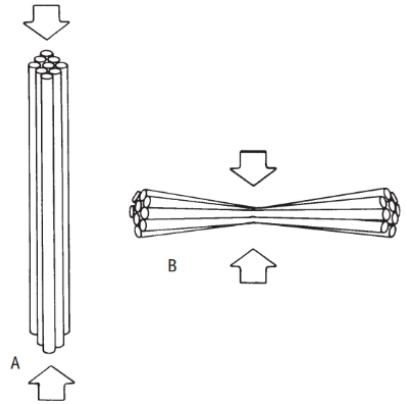


Figura 21: A: Esforço de compressão paralela às fibras
B: Esforço de compressão perpendicular às fibras.
Fonte: RITTER, 1990 apud CALIL, 2003te:RITTER, 1990 apud CALIL,2003

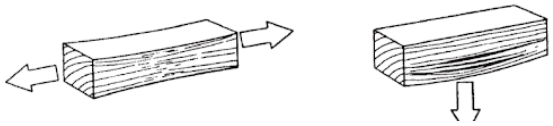


Figura 22: Esforços de tração paralelo e perpendicular às fibras.
Fonte: RITTER, 1990 apud CALIL, 2003

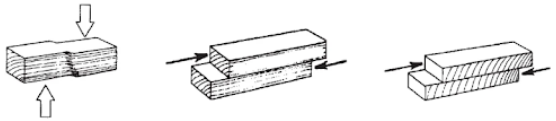


Figura 23: Esforços de cisalhamento.
Fonte: RITTER, 1990 apud CALIL, 2003

4.1.5 - Durabilidade e deterioração

Os preconceitos referentes à utilização da madeira como material de construção, em muitos dos casos, se referem à confiabilidade estrutural, inflamabilidade e a durabilidade do material. Como veremos a seguir, muitos desses mitos e preconceitos criados e direcionados às estruturas de madeira podem ser contornados e evitados com a ampliação e difusão do conhecimento das características e propriedades do material.

A madeira é um material inflamável e comumente julgada como um material de baixa resistência ao fogo, apesar disso, como aponta Calil (2003), as peças estruturais possuem um alto desempenho a altas temperaturas. A camada superficial das peças de madeira, quando submetidas ao fogo, carboniza e forma uma espécie de barreira isolante que dificulta que o calor atinja as partes mais internas da peça e permite que a madeira se mantenha funcional em situações em que o aço, por exemplo, já teria colapsado.

Por ser um elemento orgânico, a madeira está sujeita ao apodrecimento e ao ataque de organismos xilófagos, tais como fungos, cupins e moluscos. De acordo com Pfeil (2003), a vulnerabilidade da madeira de construção ao ataque biológico depende de alguns fatores como:

- Camada do tronco de onde a madeira foi extraída, sendo o alburno mais suscetível a ataques do que o cerne;
- espécie da madeira, algumas espécies são mais resistentes do que outras;
- condições ambientais, caracterizadas pelos ciclos de reumidificação, contato com solo e com água doce ou salgada.

A utilização da madeira em ambientes externos exige soluções que garantam a proteção da maneira com relação aos raios solares e umidade proveniente das chuvas. Além disso, com relação aos organismos xilófagos, quando devidamente tratadas com substâncias químicas, a madeira pode ter sua durabilidade prolongada e ainda demandará menores esforços de manutenção (CALIL,2003). Dessa forma, se nos atentarmos para a escolha de espécies, para o tratamento adequado e para soluções construtivas que protejam a madeira das condições ambientais, possivelmente teremos estruturas de madeira com grande resistência e durabilidade.

4.2 - Madeira como material construtivo

A forma de se construir e as técnicas construtivas, variam conforme hábitos, tradições, características culturais e socioeconômicas de uma população, bem como de acordo com as condições climáticas e disponibilidade de material na região (KOLB, 2008). No Brasil, ao contrário do que ocorreu em países nórdicos e bálticos, a madeira, ao longo do século XX, não se destacava dentre as soluções construtivas empregadas dentro do mercado da construção civil, sendo associada, conforme assinala Aflalo (2020), ao uso de construções vernaculares na região Sul do país, embora, como material estrutural, tenha sido muito empregado: pilares, vigas, coberturas. Segundo o autor, existe

grande resistência com relação à utilização do material, tanto por questões culturais como pela ignorância quanto aos atributos da madeira (AFLALO, 2020).

O fato é que as árvores são organismos vivos, o que implica em uma grande diversidade e complexidade das características químicas, físicas e mecânicas do material. Para cada espécie que observamos encontramos propriedades estruturais distintas. Além disso, fatores como a umidade e a direção das fibras influenciam diretamente na resistência e estabilidade das peças. Tal complexidade, somada aos pontos levantados no parágrafo anterior, favorecem para que haja desinteresse com relação à utilização da madeira como material de construção, especialmente para edificações de múltiplos pavimentos (GREEN; TAGGART, 2017).

Hoje, quando olhamos para as construções de madeira, notamos grandes mudanças, especialmente nos últimos anos, com o advento da madeira engenheirada[5]. Conforme pontuam Green e Taggart (2017), o avanço tecnológico e o desenvolvimento de novas formas de se construir com a madeira possibilitou a substituição de um modelo de construção manual/artesanal por um modelo mais eficiente e racional que conta com auxílio de processos industriais. Tal transformação, permitiu a criação de peças mais homogêneas e com comportamento mais previsível, bem como uma maior precisão e facilidade de montagem. Ao longo dos últimos anos, grandes estruturas de madeira eram raras. Atualmente, conforme apresenta Kolb (2008), especialmente com o avanços das pesquisas na Europa, normatizações da área e aumento da demanda por soluções mais sustentáveis, edifícios de múltiplos pavimentos construídos com madeira são cada vez mais comuns e presentes em áreas urbanas.

4.3 - Produção da madeira

Ao longo deste trabalho, foram apresentados pontos relevantes para a redução dos impactos ambientais no setor da construção civil, especialmente através da utilização da madeira como principal material estrutural de uma edificação. No entanto, a utilização indiscriminada da madeira não é suficiente para categorizar uma construção como sustentável. No momento atual, tais aspectos ambientais têm uma maior atenção, especialmente por conta das oportunidades de inserção do discurso "verde" na comunicação e estratégias de marketing das empresas (AGOPYAN, 2011).

Tal prática, como aponta Ghisleni (2022), é conhecida como greenwashing ou "maquiagem verde" e sua definição se baseia no uso inadequado da ideia de sustentabilidade. Empresas apresentam benefícios ambientais de seus produtos de forma desconexa, exagerada, incompleta ou até mesmo falsas informações, com o intuito de se destacar dentro de um mercado que se torna cada vez mais exigente com relação às práticas ambientais. Podemos encontrar exemplos em diversas indústrias como na indústria de

cosméticos, de automóveis, de eletrodomésticos e inclusive, da construção civil.

Agopyan (2011), levanta alguns erros comuns relacionados às estratégias para a seleção de produtos, dentro do campo da construção civil, para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. Abaixo apresento alguns dos problemas sinalizados pelo autor:

- Desconsideração dos impactos sociais: Um produto pode ser associado à sonegação de impostos e desrespeito à legislação social e ambiental, como no caso de produtos produzidos com mão de obra semi escrava.
- Foco em apenas um aspecto do problema: O material pode apresentar características positivas com relação a um aspecto e pode ser nocivo em outro.
- Comparação de produtos com funções diferentes: Comparação do impacto ambiental de massa de produto para materiais que possuem funções distintas, como por exemplo, comparar o impacto de uma viga de concreto com um pilar de madeira.
- Desconsideração da durabilidade ou vida útil nas condições de uso: Produtos com menor durabilidade precisam ser substituídos em um menor espaço de tempo, ampliando a demanda de recursos e gerando mais resíduos.
- Desconsideração do impacto do transporte: Como apresentado ao longo do texto, o transporte implica em um alto consumo de combustíveis fósseis e alta emissão de poluentes, principalmente no caso dos produtos pesados que são transportados por meio do transporte rodoviário. Como exemplo, podemos pensar na importação de produtos produzidos em regiões afastadas e que apesar de no contexto regional de produção apresentarem baixo impacto ambiental, devido ao deslocamento, podem resultar no efeito contrário ao esperado. (AGOPYAN, 2011, p.71)

Como apresentado por Agopyan (2011), é preciso considerar algumas variáveis fundamentais para a seleção de materiais e a efetiva redução dos impactos ambientais, como os aspectos da vida útil da edificação, o potencial de reutilização da matéria-prima, os percursos a serem percorridos nos processos de transporte e no caso da madeira, como destaca Shigue (2018), uma das mais significativas variáveis: a necessidade de renovação das áreas florestais destinadas à extração da matéria-prima (SHIGUE,2018).

As florestas nativas ao longo dos anos foram responsáveis por alimentar as demandas do mercado da construção civil. Conforme aponta Aflalo (2020), desde o início do processo de colonização europeia nos países sul americanos perdurou um modelo extrativista predatório no continente, seja no âmbito da mineração, da extração vegetal ou para expansão das atividades agropecuárias. O modelo de exploração das florestas negligenciou a preocupação com relação à recuperação das áreas degradadas. (AFLALO, 2020).

[5] Madeira engenheirada é aquela que é processada industrialmente para otimizar o seu desempenho para uso na Construção Civil (CTE, 2020).

Vale ressaltar que nem toda madeira extraída de florestas nativas são categorizadas como fruto de um desmatamento predatório. Existem práticas de manejo sustentável que viabilizam a extração dos recursos florestais para fins comerciais, de forma controlada e que possibilita a regeneração natural da floresta, embora estas práticas ainda sejam exceções dentro do contexto brasileiro (SHIGUE, 2011). Independente do local de exploração, o manejo sustentável, como aponta Green e Taggart (2017), segue tipicamente os mesmos princípios. De modo geral, visa a conservação da biodiversidade, a manutenção da capacidade produtiva das florestas, a vitalidade e saúde dos ecossistemas, a conservação do solo e os recursos hídricos, a manutenção da contribuição florestal para o ciclo do carbono e a manutenção e crescimento a longo prazo dos benefícios socioeconômicos da atividade produtiva em questão (GREEN,2017).

É possível observar o estrago causado pela exploração predatória dos recursos naturais em todos os biomas brasileiros, mas o caso da mata atlântica se destaca dentre os demais. O bioma se estendia pelas áreas litorâneas do país indo do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul e representava o segundo maior bioma da América do Sul, somente atrás da Amazônia. Hoje, conforme estudos e mapas do INPE (figura 25), observamos que grande parte do domínio da mata atlântica (em amarelo no mapa) já foi explorado, restando poucos pontos de mata nativa.

No Brasil, a maior parte do mercado consumidor da madeira está localizado na região Sudeste e como pudemos observar, grande parte da cobertura vegetal natural não existe mais, o que dificulta e torna inapropriada a extração da madeira em ecossistemas nativos. Além disso, como afirma Aflalo, não faz sentido do ponto de vista da eficiência energética e consumo de recursos, transportar a madeira bruta por longas distâncias através de estradas precárias do território amazônico para processá-la na região Sudeste. Nesse contexto, as florestas plantadas se mostram como uma alternativa para suprimento das demandas das indústrias do papel e da construção civil das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, como observamos na figura 26 (AFLALO, 2020).

Seja para a extração da madeira em áreas de floresta nativa ou em florestas plantadas, algumas iniciativas e regulamentações foram criadas como forma de reduzir a exploração predatória da madeira e responder às pressões mercadológicas por produtos ambientalmente e socialmente responsáveis. As certificações têm o intuito de oferecer a garantia de que uma determinada mercadoria é fruto de práticas de manejo florestal que não contribuem para o desmatamento, além de garantir o cumprimento das legislações ambientais e trabalhistas locais. No Brasil, conforme aponta Shigue (2018), existem dois sistemas de certificação principais, o FSC (Forest Stewardship Council) e o CERFLOR, que têm o INMETRO como órgão executivo e é reconhecido pelo PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes).

No contexto global o FSC e o PEFC também são as certificações de maior destaque e de maior abrangência. Dentre estas, a certificação FSC, no Brasil, abarca a maior parte do mercado e possui maior reconhecimento (SHIGUE, 2018).

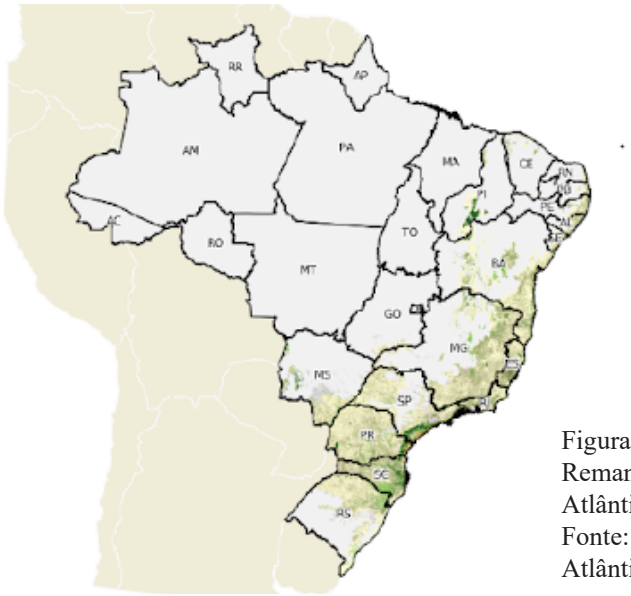


Figura 25: Mapa de Remanescentes da Mata Atlântica (2016)
Fonte: SOS Mata Atlântica/ INPE, 2016

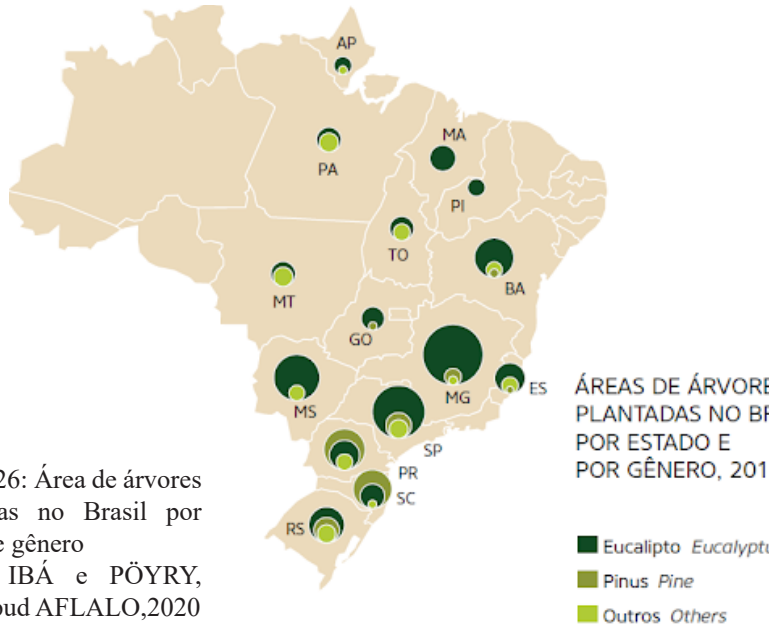


Figura 26: Área de árvores plantadas no Brasil por estado e gênero
Fonte: IBÁ e PÖYRY, 2018 apud AFLALO,2020

4.4 - Produtos industrializados originados da madeira

As construções de madeira sempre tiveram configurações atreladas às dimensões e resistência naturais das peças extraídas das árvores. Conforme apresenta Giorgi (2020), o processo de industrialização da madeira, que se desenvolveu ao longo do século XX, possibilitou a aplicação do material em situações que antes não eram realizadas por conta das limitações de carregamento e dimensionamento dos elementos estruturais (GIORGI, 2020).

Os produtos de maneira engenheirada, como são chamados os elementos provenientes do processamento da madeira, são formados a partir da aglutinação de pequenas seções, lâminas, flocos, fibras de madeira maciça, compondo produtos íntegros, homogêneos, com maior rigidez e resistência. Além disso, a madeira engenheirada otimiza a capacidade de utilização de matéria-prima e evita desperdícios, uma vez que é possível aproveitar, quase de forma integral, as matérias-primas (GREEN; TAGGART, 2017).

Tais produtos podem ser classificados como colados ou compostos sem cola, onde a aglutinação ocorre mecanicamente (AFLALO, 2020). Na figura abaixo (figura 27) pode-se observar alguns destes produtos.

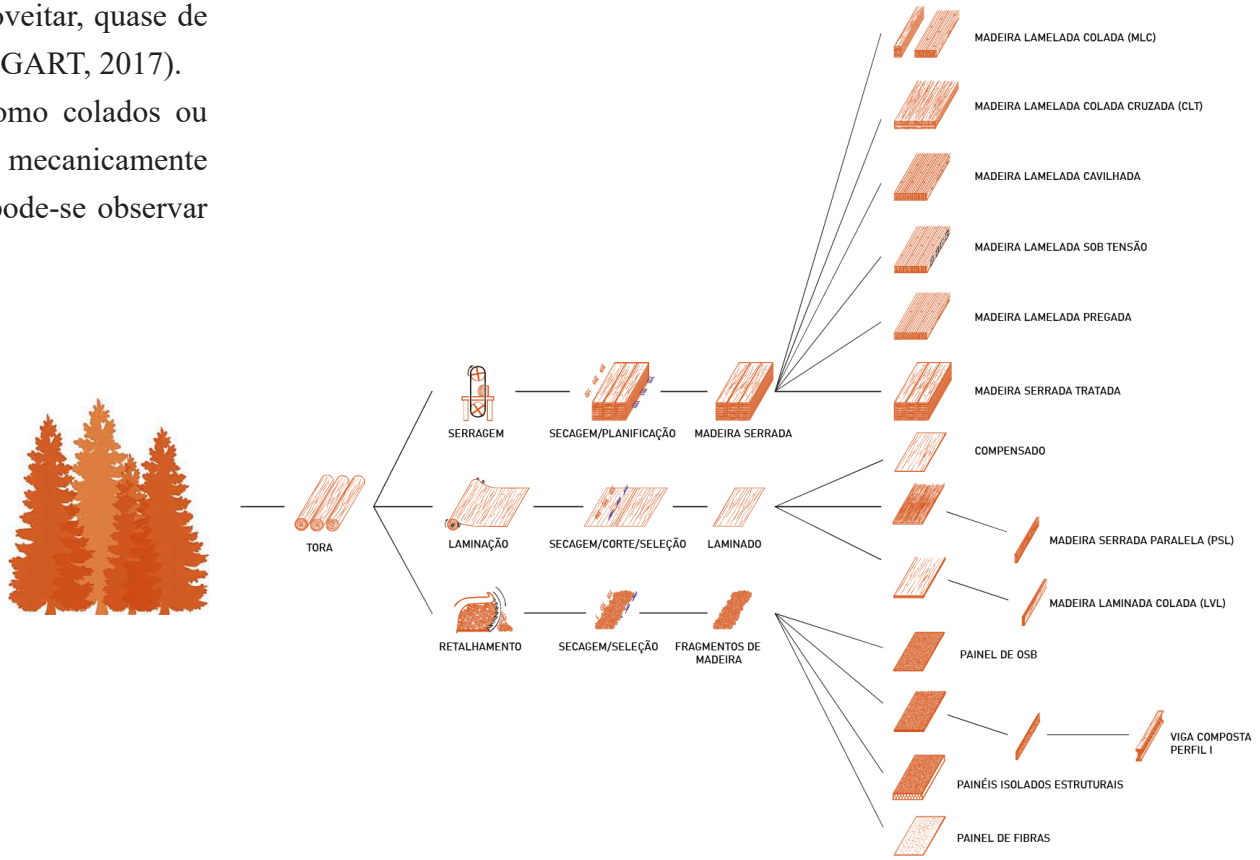


Figura 27: Cadeia produtiva dos produtos engenheirados de madeira
Fonte: RAMAGE et al, 2017 (adaptado pelo autor)

4.4.1 - MLC ou Glulam

Conhecido como madeira lamelada colada ou glulam - abreviação do termo em inglês glued laminated timber - surgiu na Europa e foi patenteado na Suíça em 1901. A fabricação da MLC se dá a partir da colagem de lamelas individuais de madeira sob condições controladas, para a criação de peças de grandes dimensões, seções delgadas ou peças curvas que conseguem superar grandes vãos. O MLC é comumente empregado como pilar ou viga nos edifícios. O desenvolvimento do adesivo de poliuretano (PU) à base d'água, de baixa toxicidade e baixo impacto ambiental, ampliou o interesse pela tecnologia. (AFLALO, 2020)

O processo de fabricação da MLC se dá, conforme aponta Aflalo (2020) em quatro etapas principais:

1. A primeira etapa é o processo de seleção e preparo das peças, no Brasil, madeiras como o eucalipto e o pinus são utilizadas para a fabricação da MLC.
2. Em um outro momento ocorre a colagem das pontas através de juntas tipo finger, como apresentado na figura 29. Este tipo junta somado à utilização do adesivo, possibilita a criação de peças com grandes comprimentos atendendo as especificações previstas no projeto.
3. Após a colagem das juntas, as réguas formadas na etapa anterior são empilhadas, coladas e prensadas.
4. Por fim, as peças são acabadas, usinadas e embaladas

Figura 28: Mapa de Remanescentes da Mata Atlântica (2016)
Fonte: SOS Mata Atlântica/ INPE, 2016

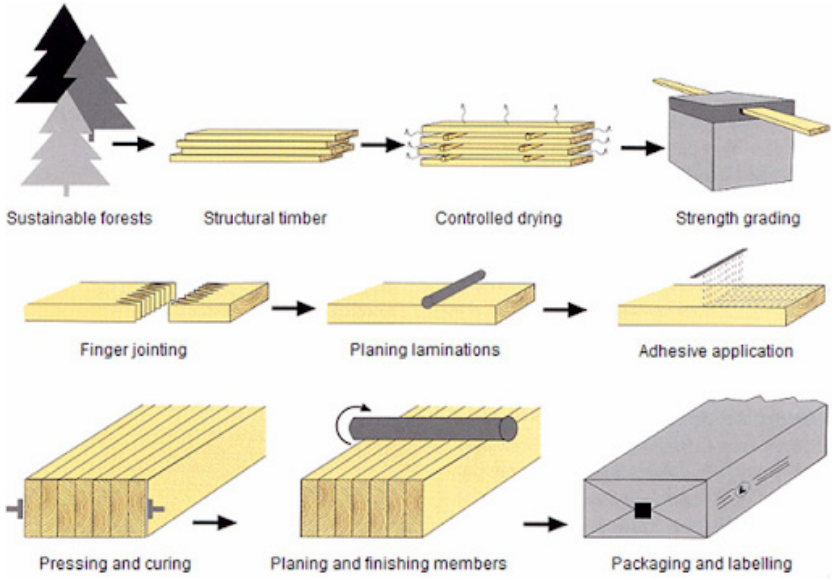


Figura 29: Mapa de Remanescentes da Mata Atlântica (2016)
Fonte: SOS Mata Atlântica/ INPE, 2016

4.4.2 - CLT

Conhecido como madeira lamelada colada cruzada - advém do termo em inglês cross laminated timber - é a combinação de diversas camadas de madeira (em número ímpar), que são dispostas de forma alternada, onde as peças de cada camada se encontram perpendicularmente às camadas adjacentes, como apresenta a figura 31. Assim como a MLC, este tipo de produto também passa pelos mesmos processos industriais. As peças são selecionadas, regularizadas, coladas, empilhadas, prensadas, acabadas e embaladas, no entanto, seguem configurações específicas de dimensionamento e disposição das lamelas (GREEN, 2017).

Aflalo (2020), comenta que o fato do CLT se caracterizar por grandes formatos e comportar uma massa considerável de madeira, o torna um produto com uma grande capacidade de armazenar CO_2. O CLT é extremamente resistente e sua aplicação varia de acordo com a necessidade do projeto, podendo ser utilizado como parede estrutural, laje ou vedação.

Figura 30: Peça de CLT | Fonte: Green, Taggart, 2017

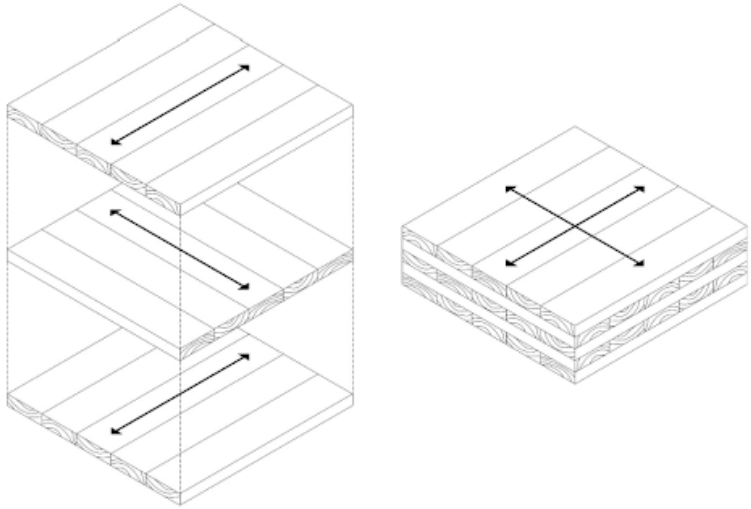


Figura 31: Disposição das lamelas para composição do CLT.
Fonte: Giorgi, 2020

4.4.3 - LVL

Conhecido como madeira laminada colada - abreviação do termo em inglês laminated veneer lumber - conforme apresenta Giorgi (2020), é um compósito de alta resistência, utilizado para aplicações estruturais. Sua fabricação se dá por um processo mais complexo (figura 33), de maneira geral, as peças passam pelo processo de laminação, secagem, triagem, colagem, prensagem e por fim, são acabadas e embaladas.

Assim como os produtos citados anteriormente, o processo de industrialização possibilita a criação de peças de diversas

Figura 32: Peça de LVL
Fonte: Green, Taggart, 2017

dimensões, não se limitando às dimensões naturais das árvores encontradas na natureza (GIORGI, 2020). O LVL possui resistências comparadas à madeira maciça, ao concreto e ao aço e é utilizado em diversas aplicações estruturais, como vigas, treliças e pilares (Aflalo, 2020).

Na tabela abaixo (figura 34) estão destacados alguns dos principais produtos engenheirados de madeira e suas aplicações na construção civil.

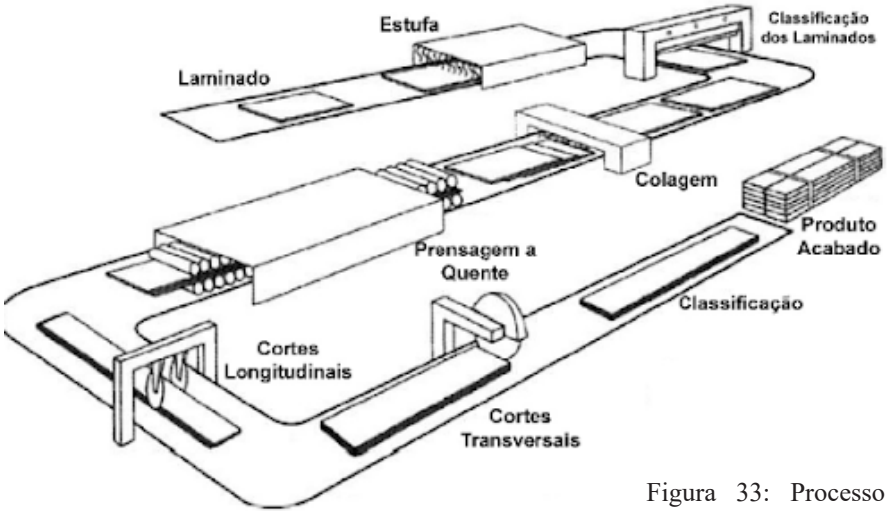


Figura 33: Processo de fabricação do LVL
Fonte: Timber Engineering, 2003 apud Giorgi, 2020.

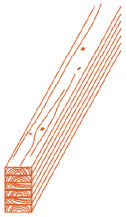
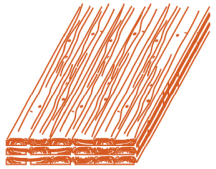
PRODUTO DE MADEIRA ENGENHEIRADA	MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC)	MADEIRA LAMELADA COLADA CRUZADA (CLT)	MADEIRA LAMINADA COLADA (LVL)
ILUSTRAÇÃO			
APLICAÇÃO	Vigas e Pilares	Paredes estruturais, Vedações e Lajes	Vigas, Pilares e Treliças

Figura 34: Principais produtos engenheirados e sua aplicação
Fonte: RAMAGE et al, 2017 (adaptado pelo autor)

4.5 - Sistema construtivo de madeira

Os sistemas construtivos, para além das questões ligadas à arquitetura, ao contexto socioeconômico e cultural, estão diretamente atrelados às questões de segurança, rigidez e estabilidade das estruturas. Como apresenta Green e Taggart (2017), independentemente do material empregado, é fundamental que o sistema proporcione uma estrutura segura, que resista aos esforços e atenda aos requisitos funcionais ao longo da vida útil do edifício. Todas as edificações estão sujeitas a esforços, sejam eles verticais, como o peso próprio da estrutura e o peso decorrente do processo de ocupação, ou horizontais, como esforços laterais decorrentes da ação dos ventos, por exemplo. Tais ações, resultam em diversos tipos de tensões que precisam ser transmitidas pelos componentes estruturais até serem descarregadas no solo (GREEN; TAGGART, 2017).

Este subcapítulo tem o intuito de apresentar algumas das formas de se construir com os produtos de madeiras engenheirada. Ao contrário dos sistemas construtivos hegemônicos, que normalmente se amparam nas soluções estruturais baseadas em camadas sobrepostas de pilares e vigas, o sistema construtivo de madeira para além da solução citada, possibilita uma grande variedade de formas de se construir. Com o advento da industrialização e dos desenhos assistidos por computador, tornou-se possível a pré-fabricação e personalização em larga escala destes elementos, seja para a criação de pilares e vigas ou para a fabricação de painéis estruturais e módulos completos, que podem ser combinados para a execução de edifícios de múltiplos pavimentos (figura 35).

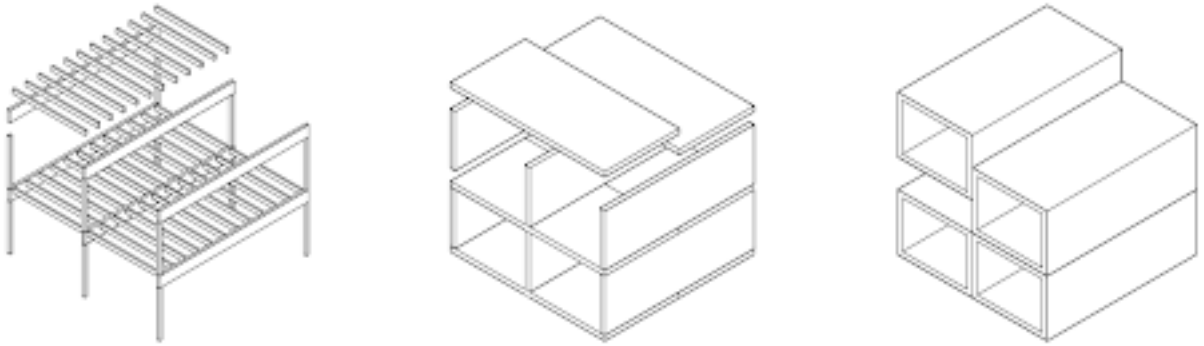


Figura 35: Aplicações da madeira engenheirada em diferentes sistemas construtivos.
Fonte: HUß, 2018 presente em KAUFFMAN, 2018

A pré-fabricação, como afirma HUß (2018), além de possibilitar grande flexibilidade para o projeto de edificações em madeira, garante maior agilidade de execução, uma vez que as peças saem da fábrica com os padrões definidos em projeto. Os processos de pré-fabricação também proporcionam uma maior precisão, diminuindo a incidência de erros e incompatibilidades durante a construção, além de evitar desperdícios e otimizar a utilização dos recursos. Um ponto negativo do sistema construtivo está ligado à questão logística, uma vez que o tamanho das peças está limitado à capacidade de carga, dimensões e acessibilidade dos veículos encarregados pelo transporte das peças.

De maneira geral, como apresenta Giorgi (2020), as peças mais utilizadas no sistema construtivo de madeira podem ser divididas em dois grupos: as peças lineares, como é o caso dos pilares e vigas de MLC, ou planos, como paredes e lajes de CLT. Cada grupo possui características próprias e a utilização de cada um vai variar conforme as demandas de cada projeto (figura 36). Além das características específicas de cada peça, elas também podem ser combinadas entre si ou com outros materiais, como é o caso das lajes mistas de madeira e concreto. A figura 37 apresenta algumas das combinações possíveis entre os elementos engenheirados de madeira.

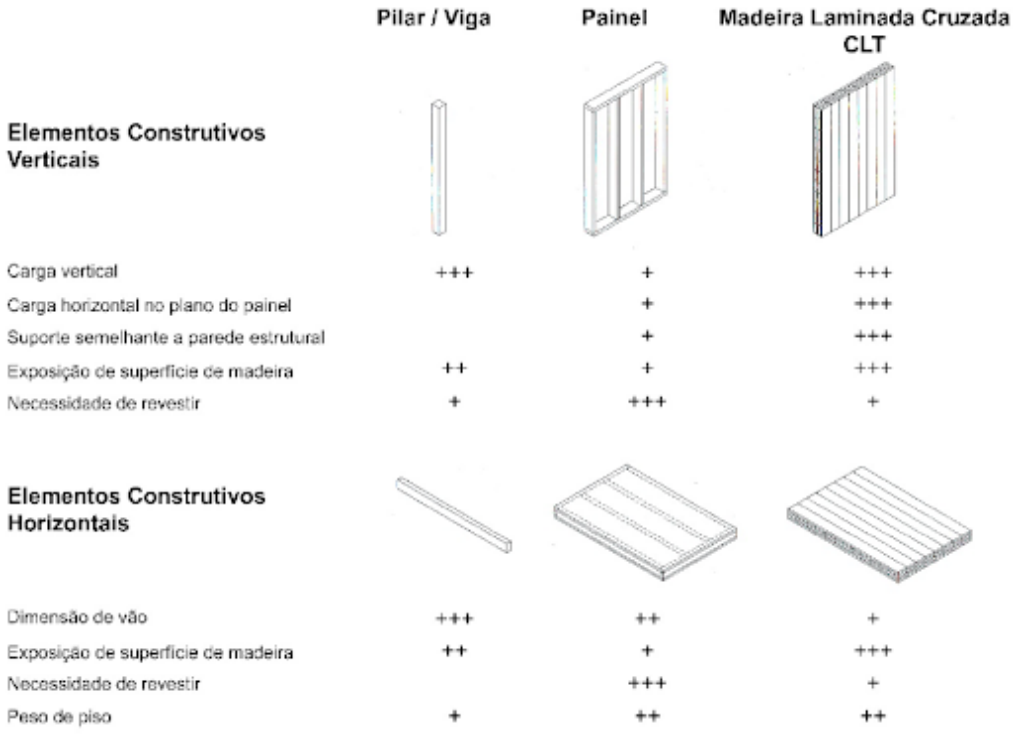


Figura 36: Aplicações da madeira engenheirada em diferentes sistemas construtivos.
Fonte: HUß, 2018 presente em KAUFFMAN, 2018

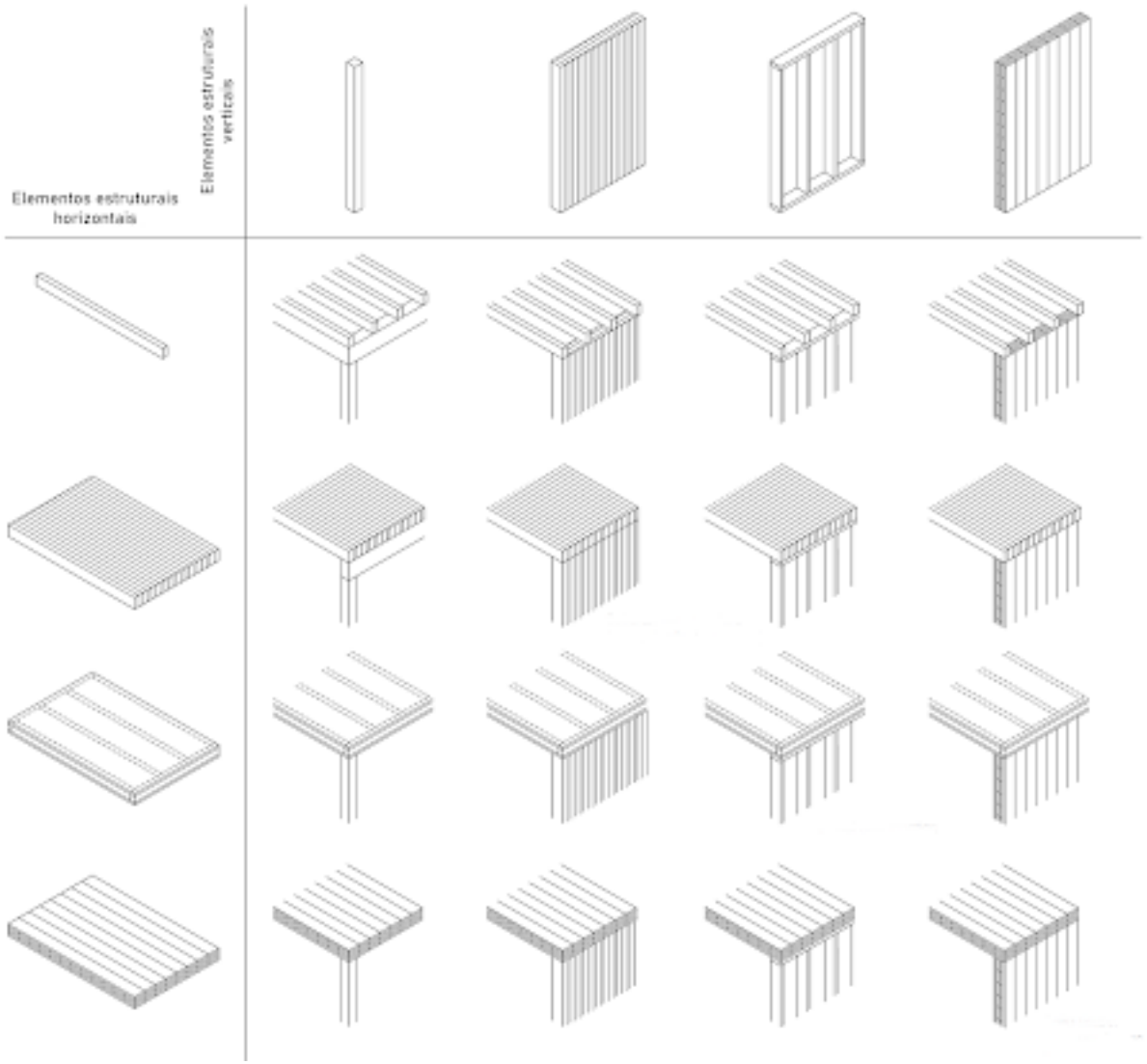


Figura 37: Aplicações da madeira engenheirada em diferentes sistemas construtivos.
Fonte: HUß, 2018 presente em KAUFFMAN, 2018

4.5.1 - Sistema de elementos aporticados

O sistema de elementos aporticados é amplamente difundido. É recomendado como solução estrutural para edifícios que necessitam de grandes vãos livres e de maior flexibilidade dos espaços internos, já que as paredes, nesse caso, não se comportam como elementos estruturais, mas como elementos de vedação, que podem ser posicionados conforme os requisitos funcionais do espaço.

De acordo com Kolb (2008), este sistema pode ser compreendido como um sistema estrutural independente, composto por pilares, vigas e elementos de contraventamento, dispostos de forma regular formando a estrutura. Conforme aponta o autor, esta estrutura principal serve como apoio para

os pisos (estrutura secundária), sejam eles pré-fabricados de madeira ou de outro material. As paredes, como apresentado anteriormente, não estão sujeitas a carregamentos nesse modelo, possibilitando a criação de espaços flexíveis e grandes panos envidraçados (KOLB, 2008).

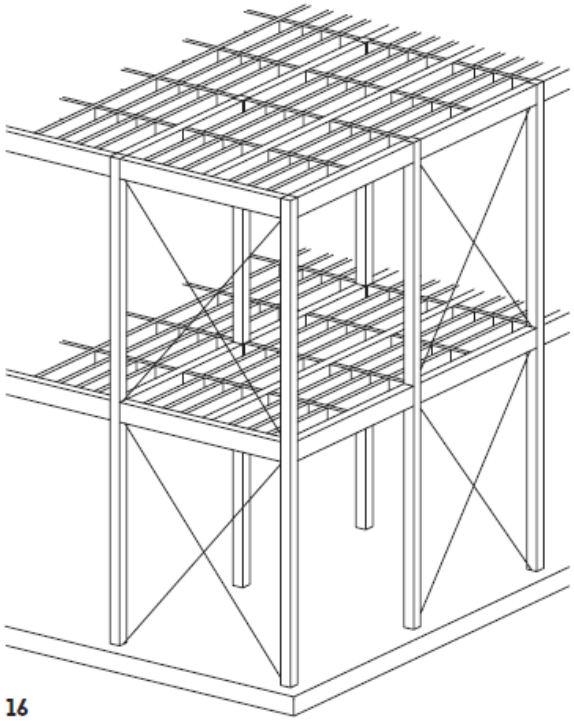


Figura 38: Sistema de elementos aporticados
Fonte: DANGEL, 2017.

Como aponta Kolb (2008), as estruturas primárias são responsáveis por receber o carregamento das estruturas secundárias e transferi-lo até as fundações. As estruturas secundárias, conforme apresentado, são formadas por pisos apoiados sobre vigas menores ou elementos pré-fabricados, como é o caso do CLT e do steel deck. Para suportar as cargas horizontais, causadas pela ação dos ventos, e evitar a deformação e colapso da estrutura é importante, neste tipo de sistema, a utilização de elementos de contraventamento no plano horizontal e no plano vertical, sejam elementos diagonais metálicos, de madeira ou até estruturas centrais rígidas de concreto ou CLT, normalmente apresentadas na forma de caixa de escada e elevadores (KOLB, 2008)

Figura 39: Interior do edifício Bullit Center com destaque para a estrutura em MLC.
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017.

As conexões entre os elementos estruturais são responsáveis por unir e transferir as cargas de um componente para outro. Elas podem ser realizadas através de técnicas tradicionais, como cavilhas e entalhes; através de pregos e parafusos ou por uma variedade de componentes metálicos. A seleção do tipo de conexão vai depender das características de cada material, das solicitações e da disponibilidade, abaixo apresento alguns exemplos de conexões (GREEN; TAGGART, 2017).

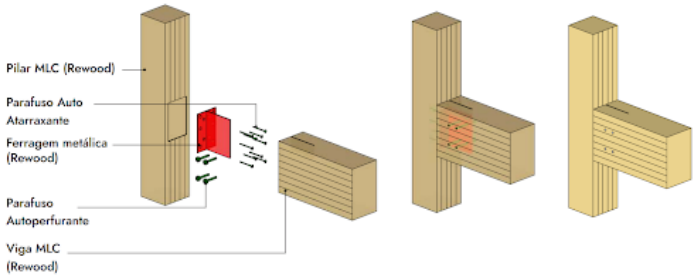


Figura 40: Exemplo de fixação da viga no pilar utilizando ferragem em T e parafusos.
Fonte: REWOOD, 2020

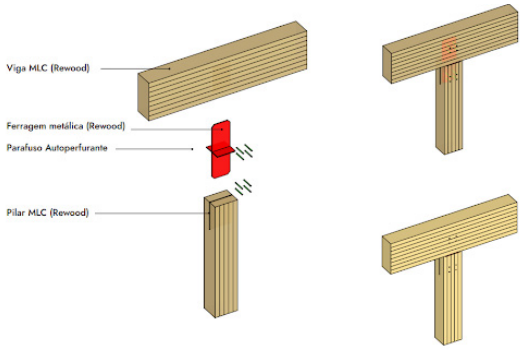


Figura 41: Exemplo de fixação da viga no pilar utilizando ferragem em cruz e parafusos,
Fonte: REWOOD, 2020.

É muito importante garantir que as peças de madeira se encontrem protegidas da umidade, inclusive da umidade proveniente do contato direto com o solo. Como apresentado anteriormente, o papel da estrutura é suportar as cargas e transmiti-las para o solo. Para que seja alcançados resultados satisfatórios, é muito comum, no caso das estruturas de madeira, a utilização de fundações de concreto armado prolongadas sobre a superfície , de modo que a madeira seja fixada, com auxílio de conexões e parafusos metálicos, sobre o concreto e se mantenha afastada do solo, como observado na figura 42.

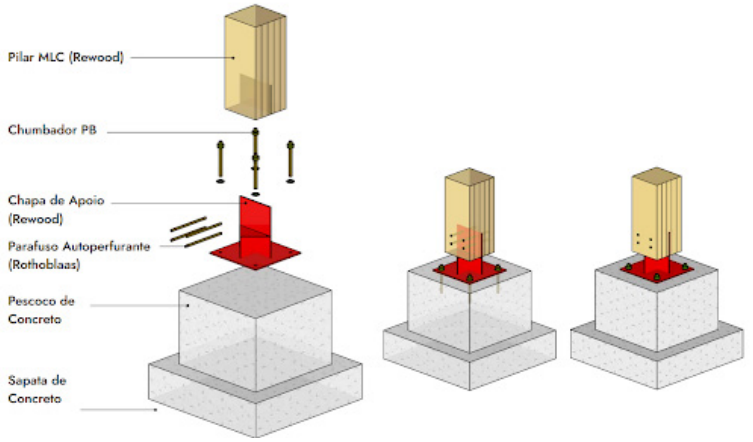


Figura 42: Interior do edifício Bullit Center com destaque para a estrutura em MLC.
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017.

4.5.2 - Sistema de painéis portantes

O sistema de painéis portantes se baseia na utilização de elementos planos verticais e horizontais sobrepostos de modo sequencial. Tais elementos, possuem tanto funções estruturais quanto de vedação (KOLB, 2008).

Conforme apresenta Giorgi (2020), as principais configurações estruturais empregadas neste sistema são o wood frame e a composição de painéis de madeira engenheirada, especialmente o CLT. O primeiro se baseia em painéis constituídos por montantes espaçados de forma linear e responsáveis pela sustentação da parede. Entre os montantes verticais, como forma de garantir um melhor desempenho térmico, são aplicados materiais isolantes e como forma de fechar a composição, são empregadas chapas de compensado, OSB, gesso acartonado, entre outros. As lajes são construídas seguindo a mesma lógica, no entanto dispostas na horizontal.

O sistema baseado em painéis de CLT, por sua vez, depende de uma quantidade maior de madeira, o que torna o sistema mais eficiente do ponto de vista do armazenamento de carbono. Nesse sistema, os painéis são utilizados tanto para a construção de pisos como para lajes e são fixados com auxílio de parafusos e elementos metálicos. Assim como no sistema wood frame, as paredes podem ser formadas por composições dos painéis com diversos elementos, como placas de fechamento para fachada e isolantes. O processo de pré-fabricação nesse caso é muito bem-vindo, de acordo com as necessidades do projeto, os painéis são fabricados prevendo as aberturas de portas, janelas e já saem das fábricas preparados para a montagem, o que torna relevante o planejamento prévio sobre as questões de logística e transportes das peças para execução das obras (GIORGI, 2020).

Os sistemas de painéis portantes são limitados do ponto de vista da flexibilidade dos espaços, uma vez que os elementos são parte da estrutura do edifício, o que torna a reconfiguração dos espaços uma tarefa complicada e limita as variações dos espaços internos ao longo da vida da edificação. Conforme Green e Taggart (2017), o sistema de painéis portantes são recomendados para edifícios residenciais ou edifícios em que as necessidades funcionais dos usuários permaneçam fixas.

Figura 43: Montagem do edifício Woodcube em Hamburgo.
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017.

4.5.3 - Sistemas Modulares

Os sistemas modulares são compostos por módulos pré-fabricados, comumente produzidos de CLT, que contemplam os painéis estruturais e de vedação, pisos, portas, janelas e muitas vezes configurações de mobiliários fixos já instalados, nesse caso, as tubulações já são previstas sendo necessário apenas conectá-la ao sistema principal (HUß,2018).

Conforme aponta HUß (2018), é fundamental que a decisão de se trabalhar com a construção modular seja feita no início do processo de projeto, uma vez que alteram muito a configuração do edifício e o processo de logística da construção. Normalmente, o processo de montagem se dá com grande agilidade, o edifício se ergue através da disposição horizontal e empilhamento dos módulos que são conectados por conexões metálicas. Este tipo de estrutura, conforme aponta o autor, é recomendado para situações que apresentem demandas por um grande número de unidades repetidas, como é o caso de hotéis e moradias estudantis.

Figura 44: Içamento de um módulo.
Fonte: Kauffman Zimmerei und Tischlerei, 2018

4.5.4 - Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos, onde diversos materiais e soluções estruturais são combinadas, são utilizados como forma de otimizar a eficiência estrutural, térmica e acústica ou adaptar os edifícios ao contexto, aproveitando a mão de obra local e os produtos encontrados nas imediações do canteiro ou como forma de contornar problemas de transporte. O aço, por exemplo, é leve e apresenta grande resistência aos carregamentos; o concreto apresenta alta resistência à compressão e a impactos e em muitos casos, é utilizado para a criação das fundações, pavimentos subterrâneos e térreos, onde as estruturas de madeira podem se apoiar (GREEN; TAGGART, 2017).

Além disso, os sistemas híbridos podem ser utilizados como forma de se enquadrar a edificação em códigos ou normas de determinada localidade. Algumas legislações, por exemplo, obrigam a utilização de materiais não inflamáveis para a construção de escadas e poços de elevadores (GREEN; TAGGART, 2017).

Figura 45: Edifício de apartamentos Treet - o edifício conta com fundações e algumas lajes em concreto, unidades modulares e estrutura externa de MLC.
Fonte: Green; Taggart, 2017

4.5.5 - Pré-dimensionamento

Durante o processo de projeto, especialmente na fase de concepção arquitetônica, é importante que o arquiteto elabore um arranjo estrutural preliminar que contemple a geometria, posição das estruturas e interligações dos elementos. Este pré-dimensionaemnto estrutural auxilia a criação de um projeto consistente e facilita a elaboração posterior dos projetos técnicos de engenharia, reduzindo incompatibilidades e retrabalho (MELO, 2013).

No caso das estruturas em madeira engenheirada, muitos fornecedores compartilham através de suas plataformas, informações, diagramas e tabelas relacionados ao pré-dimensionamento dos elementos estruturais conforme sua função. Os anexos C e D, fornecidos pela empresa Rewood, se referem à diagramas e tabelas para o pré-dimensionamento de vigas, pilares e treliças de MLC.

Para os painéis de CLT por exemplo o pré-dimensionamento leva em consideração o tamanho do vão, a carga, a quantidade de camadas, a direção das lamelas e o tempo requerido de resistência ao fogo. O anexo E traz dimensões padrão para os painéis, sejam eles empregados como lajes (laminas superficiais longitudinais) ou paredes (lâminas superficiais transversais), os anexos F e G apresentam valores de referência para o dimensionamento de paredes externas e internas de CLT e os anexos H e I apresentam dimensões referentes à pisos de CLT com base na configuração dos apoios dos paineis.

4.6 - Critérios de Desempenho

4.6.1 - Segurança contra incêndio

Edifícios de múltiplos pavimentos estruturados em madeira devem atender uma série de requisitos para alcançar condições de segurança, conforto e bom funcionamento ao longo de sua vida útil. Além dos requisitos estruturais, projetistas e executores, devem se atentar para aspectos relacionados à segurança contra incêndios, ao desempenho térmico e acústico e à estanqueidade da edificação.

Um dos motivos que dificultam a popularização dos edifícios de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira diz respeito a concepções equivocadas sobre o comportamento do material quanto ao desempenho contra o fogo. A madeira é um material inflamável, no entanto, peças com grande massa, como é o caso da madeira maciça e algumas peças de madeira engenheirada, têm um processo de combustão lento e previsível e, ao contrário de outros materiais não combustíveis, como o aço, resiste muito bem a altas temperaturas antes de perder suas propriedades estruturais (figura 46). A carbonização da camada externa da madeira (figura 47), cria uma área isolante ao redor da peça que possibilita que o interior da madeira ainda se mantenha funcional mesmo em condições adversas (AFLALO, 2020).

De acordo com Green e Taggart (2017), é fundamental que as estruturas se mantenham funcionais e estáveis durante um incêndio, de tal forma que o edifício não enfrente um colapso

estrutural durante a evacuação das pessoas e durante a ação do corpo de bombeiros. Para garantir que isso aconteça, são utilizadas estratégias passivas e ativas de proteção. As estratégias passivas podem ser encontradas no projeto das estruturas, seleção de materiais, criação de barreiras de propagação das chamas, a quantidade e a disposição das saídas de emergência. As estratégias ativas incluem a instalação de alarmes de incêndio, detectores de calor e fumaça, sprinklers, sistemas de exaustão de fumaça, geradores, dentre outras estratégias (GREEN;TAGGART, 2017).

A NBR 14432 de 2001 que aborda as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, apresenta valores de referência para os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) (Anexo A), caracterizado pelo tempo mínimo de resistência ao fogo de uma determinada edificação.

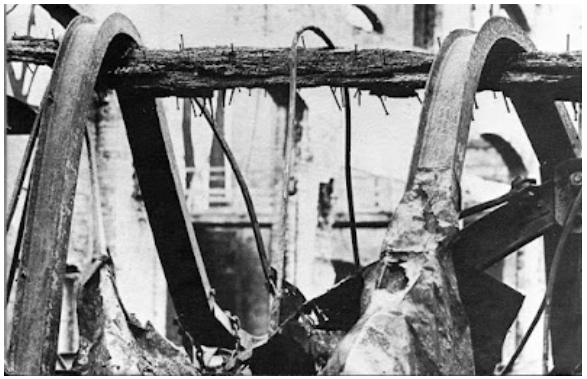


Figura 46: Comportamento da madeira e do aço após incêndio
Fonte: http://engenheiromadeireiro.blogspot.com/

Estes valores variam conforme o uso do edifício, a profundidade do subsolo e a altura da edificação (Anexo B). Para edificações de uso misto são considerados o maior valor de TRFF dentre os usos existentes no edifício. Como exemplo, no contexto deste trabalho, para o caso de edificações com alturas moderadas de Classe P3 (com altura de 12m a 23m) apresentam TRFF igual a 60 minutos para a maioria dos usos, com exceção de serviços automotivos (TRFF = 30 minutos); alguns tipos de indústrias (TRRF-= 90 minutos) e alguns depósitos (TRRF=90 minutos).

O comportamento dos elementos estruturais de madeira em caso de incêndio é influenciado diretamente pelas dimensões da seção transversal e pela densidade da madeira empregada: quanto menor a densidade e dimensões da peça, maior a velocidade de combustão. Portanto, é muito importante, para o caso de se optar por deixar os elementos estruturais expostos, que as peças de madeira possuam dimensões majoradas de modo que sejam previstos alguns centímetros extras na seção transversal para que sejam destinados à camada carbonizada e a camada de pirólise (imediatamente abaixo da camada carbonizada e não possui resistência estrutural) de modo a garantir que a parte interna da seção (protegida) seja suficiente para sustentar o edifício até a evacuação completa dos usuários (WINTER,2018)

Green (2012) apresenta, com base na norma europeia Eurocode 5 EN1995-2-1, que aborda os projetos de estruturas de madeira, valores de referência para o cálculo das camadas de

sacrifício (camada de pirólise e camada carbonizada) para paredes e lajes de CLT e para peças de MLC (figura 48). Levando em consideração os valores de TRFF apresentados pela NBR 14332 para um edifício residencial com altura de 23m (TRFF = 60 minutos) e os dados apresentados por Green (2012), podemos estimar as dimensões das camadas de sacrifício. Considerando que a estrutura do edifício citado acima seja de MLC, seria necessário para além das dimensões iniciais, calculadas para suportar e transferir as cargas do edifício, um acréscimo de 76mm referentes à camada de pirólise e de 0,635mm para cada minuto de resistência ao fogo em todos os sentidos da seção. Como o TRFF, nesse caso, é igual a 60 minutos, seria necessário adicionar 7mm + (0,635mm x 60min) = 45,1mm em cada lado exposto da seção, como forma de garantir a segurança da estrutura em caso de incêndio.

Figura 47: Camada externa de madeira carbonizada e interior protegido.
Fonte: WINTER, 2018

As altas temperaturas, como apontado anteriormente, são extremamente nocivas aos elementos de aço. Dessa forma, é necessário se atentar para a proteção das conexões metálicas empregadas nas estruturas de madeira, tais conexões podem ser embutidas na estrutura de madeira ou podem ser protegidas por um invólucro de gesso ou por substâncias intumescentes, que retardam a ação do fogo sobre as peças. (DOWNES; et al, 2009 apud GIORGI, 2020)

	Zona de Pirólise (mm)	Camada de Carbonização (mm)	Média de Carbonização (mm/min)
CLT Painel Horioztal	10	78	0,65
CLT Painel Vertical	16	78	0,65
Elemento de MLC	7	76	0,635

Figura 48: Camada de carbonização adicional
Fonte: GREEN, 2012 (adaptado pelo autor)

4.6.2 - Desempenho acústico

O desempenho acústico tem grande importância no conforto e no bem-estar dos ocupantes, não somente em espaços ligados à produtividade, que exigem foco e concentração dos usuários, mas também em espaços residenciais e comerciais. De maneira geral, o desempenho acústico está ligado à capacidade do edifício de isolar ruídos transmitidos entre ambientes. da área externa ou transmitidos no próprio espaço (GREEN, TAGGART,2017).

Para pensarmos em estratégias que visam ampliar o desempenho acústico de uma edificação de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira, é importante a conceituação do som. O som é uma energia mecânica transmitida pela vibração de moléculas, seja através do ar, água ou elementos construtivos. Em edifícios, os sons transmitidos pelo ar podem ser provenientes de conversas, músicas ou ruídos provenientes de espaços externos ou outros ambientes. Outra maneira de se transmitir o som dentro de edifícios, especialmente os de múltiplos pavimentos, é através dos elementos construtivos, como é o caso das lajes que ocupam um papel crítico no desempenho acústico, uma vez que é muito comum nos incomodarmos com objetos caindo, vibrações ou passos vindos do andar superior. A transmissão sonora por meio da estrutura ocorre devido às vibrações causadas na estrutura que irradiam o som através do corpo do elemento. E por fim, existe o som transmitido por flanqueamento, que através do ar ou da estrutura, transmite o som através de frestas e falhas do sistema de vedação (GREEN;TAGGART, 2017).

Para se alcançar boas soluções de isolamento acústico é importante pensá-las em consonância durante a fase de projeto da edificação, especialmente durante o desenvolvimento das soluções de pisos, forros e paredes. A massa desses elementos podem influenciar diretamente na transmissão sonora por impacto ou pelo ar. A transmissão sonora pelo ar pode ser evitada com isolamento acústico, como lã de rocha e lã de vidro, dispostos entre cavidades e elementos de piso, forros ou paredes. A transmissão por impacto pode ser evitada através da descontinuidade dos elementos e a transmissão por flanqueamento pode ser contornada por meio de um cuidado no detalhamento das conexões, de modo a evitar frestas que permitam a passagem do som (GREEN; TAGGART, 2017).

Para o isolamento de paredes, como comentado anteriormente é comum a criação de paredes duplas com o interior preenchido com material isolante ou a criação de paredes espessas revestidas com gesso, por exemplo. No caso de pisos e forros, podem ser aplicados materiais absorventes em cavidades existentes entre os forros ou abaixo do piso, em caso de pisos suspensos, o que amplifica o desempenho acústico da edificação (GREEN; TAGGART, 2017).

4.6.3 - Desempenho térmico e estanqueidade

As fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos devem possibilitar boas condições climáticas nos espaços internos dos

edifícios e proteger os elementos construtivos das intempéries, Como consequência, o invólucro possibilita um aumento da eficiência energética da edificação, devido à diminuição da necessidade utilização de mecanismos ativos de controle climático dos ambientes ao longo da vida útil do edifício . De acordo com Green e Taggart (2017), os fatores que mais influenciam no desempenho e consequentemente na durabilidade do invólucro são a escolha de materiais e o detalhamento e execução dos conjuntos de modo a controlar pontes térmicas, ventilação, vapor e umidade. São desejáveis materiais que apresentam baixa condutividade térmica para a composição dos invólucros, de modo a evitar que o calor transite entre o lado externo e interno do edifício, tais como fibra de vidro, lãs minerais e a própria madeira. No caso de climas frios, é importante garantir que o calor seja retido no interior da edificação e não seja dissipado para o lado de fora. Em climas quentes, como ocorre na maior parte do Brasil, é desejável que o calor externo não atravesse para o interior da edificação.

Como apresenta Giorgi (2020), as pontes térmicas são responsáveis pelo vazamento ou penetração do ar em determinado ambiente e em edificações de múltiplos pavimentos este fator é ampliado devido à maior influência das ações dos ventos nas fachadas. Sendo assim, é importante se atentar para a utilização de soluções que impeçam o vazamento de ar, tais como, a utilização de barreiras isolantes sobre as juntas e conexões que podem ser membranas auto-aderentes, placas de gesso especiais ou qualquer elemento que impossibilite a passagem de ar.

Especialmente no caso de climas frios, são utilizados retardadores de vapor para evitar a condensação do vapor nas superfícies das paredes ou de elementos estruturais. A umidade, como vimos anteriormente, pode acarretar em diversas patologias na estrutura e consequentemente em problemas para os usuários. Além do vapor é fundamental que os elementos estruturais de madeira se encontrem protegidos da água, edificações de múltiplos pavimentos, estão suscetíveis, além da ação dos ventos, à grande incidência da chuva, devido ao tamanho da superfície externa. Por isso, é importante a utilização de barreiras que impeçam a percolação da água para as camadas internas do invólucro e dispositivos que possibilitem a dispersão da água que porventura venha a penetrar nas fachadas, como no caso de fachadas ventiladas (GIORGI, 2020).

4.7 - Estudos de caso e aspectos técnicos relevantes

Com enfoque nas soluções construtivas e no desempenho dos edifícios, foram realizados estudos de algumas obras, com o intuito de compreender melhor a aplicação da madeira engenheirada enquanto elemento estrutural de edifícios de múltiplos pavimentos, os cuidados tomados durante o processo de projeto e execução e quais soluções e tecnologias foram utilizadas para viabilizar a construção dos edifícios.

Wood Innovation and Design Centre

Local: Prince George, Canadá

Projetado por: Michael Green Architecture

Ano: 2014

Uso: Institucional e Escritórios

O Wood Innovation and Design Centre foi o primeiro edifício em altura de madeira construído no Canadá, possui 29,50m de altura e é composto por seis pavimentos e uma área técnica localizada na cobertura. O edifício foi criado para atender pesquisadores, acadêmicos e profissionais interessados em estudar novos usos e soluções baseadas na madeira (GREEN; TAGGART, 2017).

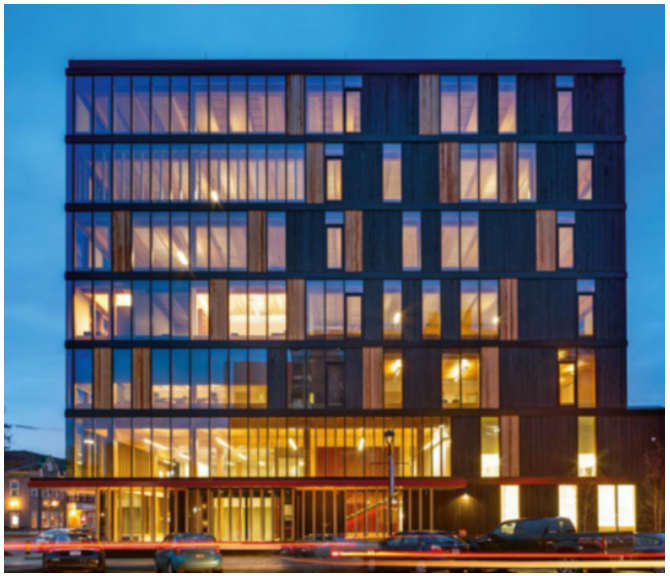


Figura 49

Estrutura

- Sistema estrutural aporticado;
- vigas e pilares de MLC;
- pisos e paredes de CLT;
- fundações e pavimento térreo em concreto;
- conexões metálicas;
- núcleo central que abriga escadas e elevadores construído com paredes de CLT e aconradas nas fundações de concreto.

Desempenho Térmico e acústico

- Piso construído em dupla camada de CLT, dispostos de modo a criar cavidades para acomodação das instalações e elementos isolantes;
- cavidades localizadas na parte superior da laje (piso) foram cobertas com compensado;
- contrapiso isolante foi instalado abaixo do compensado do piso;
- camada de fibra de vidro acima do forro.

Desempenho contra incêndio

- Estrutura exposta com dimensionamento majorado para garantir a resistência da estrutura pelo tempo necessário;
- as conexões metálicas são as partes mais vulneráveis, portanto se encontram embutidas e protegidas pela própria madeira.

Figura 50

Figura 51

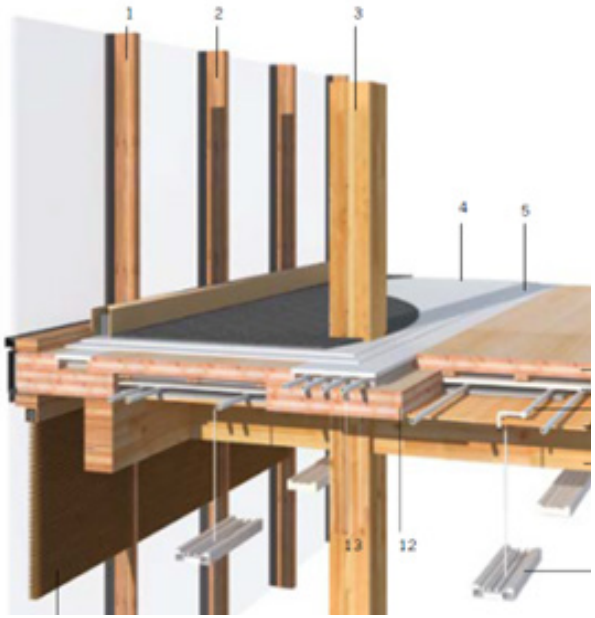


Figura 49: Fachada Innovation and Design Centre
Figura 50: Interior do edifício com destaque para a estrutura
Figura 51: Diagrama de detalhamento da estrutura e instalações
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017

Brock Commons Tallwood House

Local: Vancouver, Canadá

Projetado por: Acton Ostry Architects

Ano: 2017

Uso: Residencial

Figura 52

O Brock Commons Tallwood House foi projetado pelo escritório Acton Ostry Architects Inc. e foi pensado para abrigar cerca de 400 estudantes da University of British Columbia (UBC) em Vancouver. O edifício possui 18 andares e chega a 55 metros de altura (KAUFFMAN, 2018).

Estrutura

- Sistema estrutural aporticado;
- estrutura mista;
- fundações, pavimento térreo e torre de escadas e elevadores em concreto e servem como pontos de aconragem para o restante da estrutura;
- pilares de MLC;
- lajes de CLT - devido sua resistência, possibilita que o edifício seja erguido sem a necessidade de vigas;
- conexões metálicas.

Desempenho Térmico e acústico

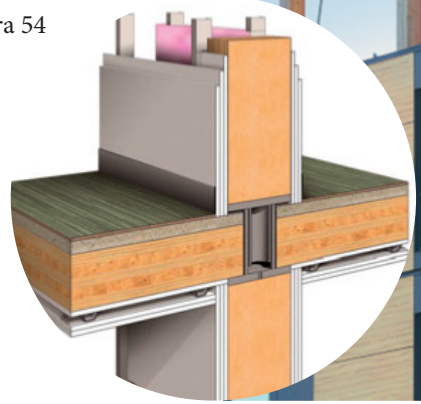
- Paredes internas em drywall (três camadas de gesso) preenchidas com materiais isolantes;
- forro de gesso afastado da laje; possibilita a criação de bolsa de ar isolante;
- fachadas em *steel-frame,* fechado com painéis Laminados de Alta Pressão (HPL) e janelas de piso ao teto, dispostos de forma alternada.

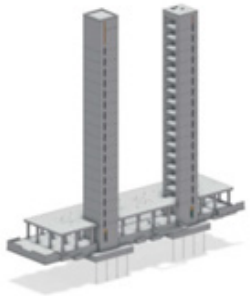
Desempenho contra incêndio

- Elementos de madeira revestidos com placas de gesso;
- sistema de sprinklers;
- sistema reserva de energia e abastecimento de água para casos de emergência.

Figura 55

Figura 54





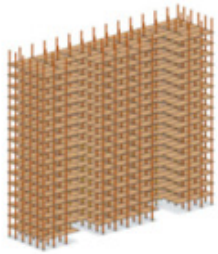


Figura 53

Figura 52: Fachada do edifício Brock Commons Tallwood House
Figura 53: Diagrama estrutural e materiais empregados: concreto e madeira.
Figura 54: Detalhamento da conexão das paredes com as lajes.
Figura 55: Processo de montagem da fachada
Fonte: KAUFFMAN, 2018

Edifício de apartamentos Treet

Local: Bergen, Noruega

Projetado por: Artec Arkitekter

Ano: 2015

Uso: Residencial

Figura 56

Figura 56: Fachada edifício de apartamentos Treet
Figura 57: Detalhamento seção da laje de concreto
Figura 58: Diagrama da estrutura do edifício
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017 (fig 56 e 58) e MALO, K.A et al. 2016 (fig 57)

Desempenho contra incêndio

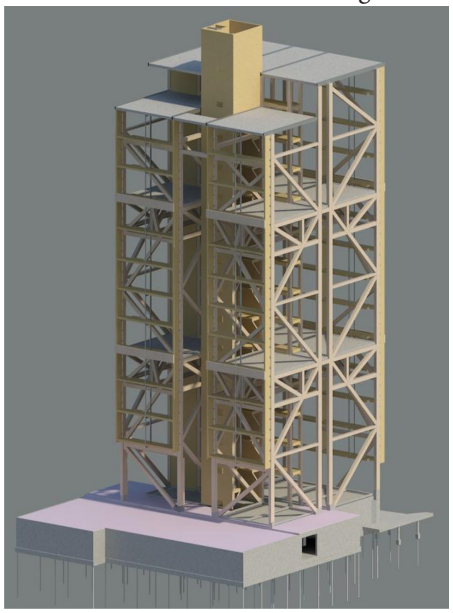
- A fachada da edificação é composta por metal e vidro e garante a proteção da estrutura;
- cada módulo possui seu próprio piso, teto e paredes, dessa forma, quando agrupados, criam uma camada dupla tanto horizontalmente quanto verticalmente, o que garante o desempenho térmico e acústico das unidades.

Em 2012, a associação Bergen og Omegn Boligbyggelag declarou a intenção de construir o maior edifício em estrutura de madeira do mundo. Desta intenção, surgiu o edifício Treet, com 14 andares, 49 metros de altura e 62 apartamentos (GREEN; TAGGART, 2017).

Estrutura

- Estrutura análoga a um gaveteiro, onde a estrutura do móvel equivale à estrutura aporticada de MLC e as gavetas às unidades de apartamento pré-fabricadas;
- subsolo em concreto armado;
- torre de escadas e elevadores em CLT;
- elementos de contraventamento em MLC, conectados por chapas metálicas;
- como forma de aumentar a massa do edifício e resistir aos esforços laterais, foram construídas lajes em concreto a cada cinco pavimentos;
- os apartamentos se consistem por dois blocos distintos, o molhado, destinado à cozinhas e banheiros e o seco para os demais ambientes.

Figura 58

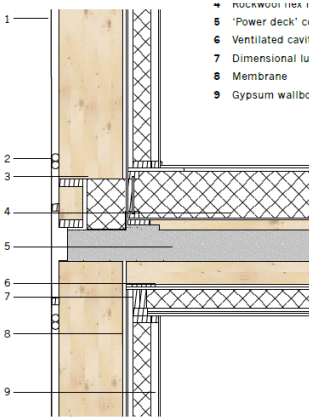


Desempenho Térmico e acústico

- Como forma de atender aos 90 minutos de TRRF, a estrutura foi majorada em seu dimensionamento;
- as conexões metálicas ficam embutidas e protegidas pela madeira;
- os corredores e saídas construídos com madeira aparente, foram pintados com tintas intumecentes.

Figura 57

1. Placa de aço conrten
2. 48x48mm batentes
3. MLC
4. Lã de rocha
5. Laje de concreto
6. Cavidade de ventilaçã
7. Madeira serrada
8. Membrana hidrófuga
9. Gesso acartonado



Edifício Tamedia

Local: Zurique, Suíça

Projetado por: Shigeru Ban Architects

Ano: 2013

Uso: Escritórios

Localizado no centro de Zurique, o edifício Tamedia possui 21 metros de altura e foi criado para acomodar 500 colaboradores do grupo suíço Tamedia. A estrutura se destaca na configuração, foi inspirada nos encaixes tradicionais japoneses e só foi possível de ser executada graças à precisão da fabricação assistida por computadores (GREEN; TAGGART, 2017).

Figura 59

Desempenho contra incêndio

- Como a madeira da estrutura fica exposta, para atender à legislação Suíça, foi necessário majorar as dimensões em todas as direções da peça em 40mm.

Estrutura

- Sistema estrutural aporticado;
- o subsolo do edifício foi construído em concreto;
- vigas e pilares de MLC cortados com CNC;
- o formato ovalado das vigas impede a rotação das mesmas absorvendo as forças laterais atuantes na edificação;
- as conexões são feitas com peças de madeira e são perfeitamente ajustadas.

Desempenho Térmico e acústico

- A fachada leste do edifício possui um sistema duplo de vedação;
- entre as duas cortinas de vidro foram dispostos espaços de circulação e escadas;
- o invólucro do edifício possui tripla camada de vidro;
- os pisos elevados possibilitam a inserção de diversas camadas de isolantes sob o mesmo, como camadas de madeira, lã mineral, além de permitir a passagem de instalações;

Figura 60

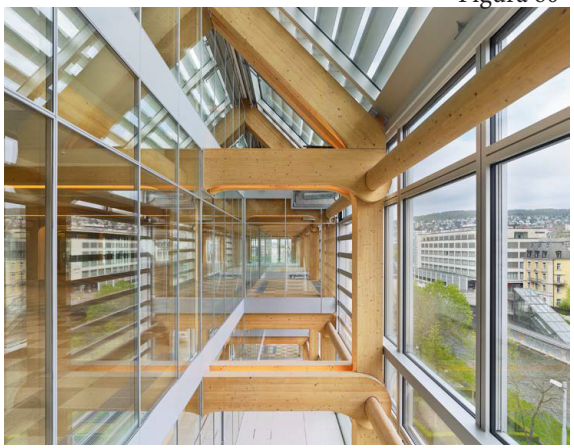


Figura 61

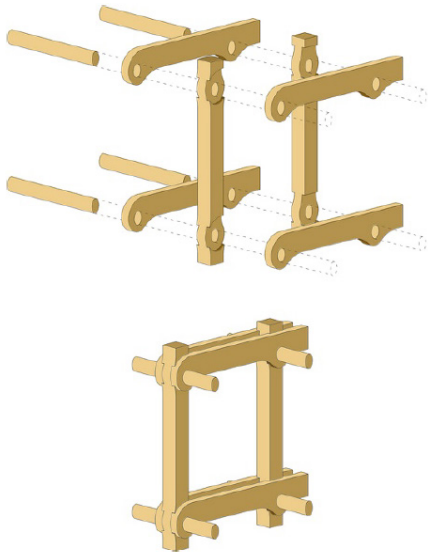


Figura 59: Fachada Edifício Tamedia
Figura 60: Invólucro de vidro e estrutura em madeira
Figura 61: Diagrama de detalhamento dos encaixes estruturais
Fonte: GREEN; TAGGART, 2017

Loja conceito Dengo Chocolates

Local: São Paulo, Brasil

Projetado por: MFMM Arquitetura

Ano: 2020

Uso: Comercial

Figura 62

Estrutura

- Sistema aporticado;
- foi utilizado Pinus Taeda do Brasil para a fabricação das vigas e pilares de MLC;
- as peças de CLT, empregado nas paredes e lajes foram importadas da Áustria;
- para a conexão das peças foram utilizados pregos e conexões metálicas embutidas na madeira.

O edifício é considerado o primeiro e mais alto edifício em CLT do Brasil. Desenvolvido pelo escritório de arquitetura Matheus Farah e Manoel Maia para a marca de chocolates brasileira Dengo, possui 1500m² e quatro pavimentos.

Desempenho Térmico e acústico

- A fachada é composta é estruturada em *wood frame* , é preenchida com lã de PET, que confere ao invólucro um maior isolamento térmico e acústico;
- os montantes da fachada são revestidos com OSB, manta hidrófuga, placa cimentícia, argamassa e pintura;
- a cobertura é suspensa e é construída com placas de OSB e revestidas com manta TPO;
- acima das lajes de CLT foram colocadas folhas *Silent Floor* que amplificam o desempenho acústico do edifício.

Figura 63

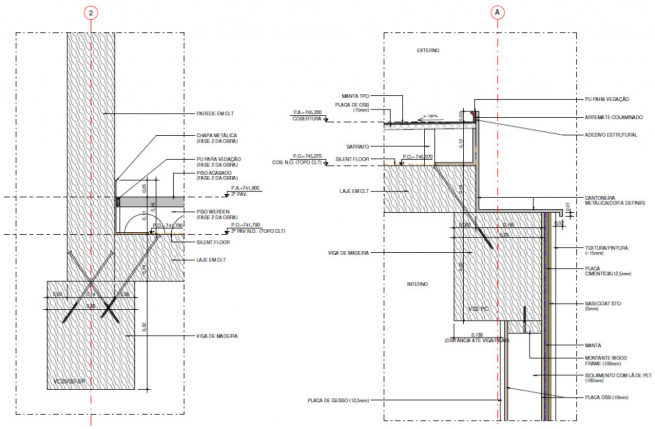


Figura 64

Desempenho contra incêndio

- a dimensão das peças de madeira foram majoradas, permitindo que ficassem expostas;
- as conexões metálicas se encontram embutidas nas peças de madeira.

Figura 62: Fachada Loja Dengo
Figura 63: Detalhamento do piso e da fachada do edifício
Figura 64: Processo de montagem do edifício
Fonte: NETO, 2022.

O edifício que abriga a loja da chocolateria Dengo é o caso brasileiro estudado neste trabalho, o prédio é considerado o edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira mais alto do país. Projetado pelo escritório MFMM arquitetura e construído em 2020 com o apoio das empresas brasileiras Amata e Rewood. Para a execução do edifício foram utilizadas peças de MLC produzidas no Brasil e painéis de CLT importados da empresa austríaca KLH.

No aspecto estrutural, observamos em todos os casos, um cuidado com relação ao contato da madeira com o solo, para isso, a solução adotada foi apoiar a estrutura sobre fundações de concreto. Outro aspecto importante diz respeito aos esforços laterais que atuam sobre as edificações, em alguns projetos foram pensados elementos de contraventamento metálicos ou em madeira, em outros foram pensados núcleos rígidos de concreto ou CLT e no caso do edifício de apartamentos Treet, ambas a combinação de elementos de contraventamento e núcleo rígido.

Como a maioria dos edifícios se encontram em países de clima frio, existia uma grande preocupação com relação ao invólucro do edifício. Em todos os casos, a vedação externa apresentava múltiplas camadas e diversos materiais, sejam isolantes, chapas de madeira, membranas impermeáveis, gesso acartonado e vidro. Com relação ao isolamento acústico, a maior preocupação se direciona às paredes e lajes que conectam ambientes distintos. Em alguns casos foram utilizadas paredes de drywall preenchidas com materiais isolantes e revestidas com placas de gesso acartonado, em outros casos foram criadas paredes duplas de CLT e em outros os painéis de CLT foram revestidos com placas de gesso acartonado. Para os pisos e forros, uma solução comum a vários exemplos, foi a criação de pisos suspensos ou forros rebaixados, que além de possibilitar a passagem de sistemas complementares, possibilitam à aplicação de materiais isolantes que ampliam o conforto térmico e dificultam a propagação de ruídos.

O desempenho contra incêndios é um fator fundamental em todos os projetos, nos projetos em que a madeira se encontra exposta, as peças estruturais foram sobredimensionadas como forma de aumentar o tempo de resistência ao fogo, no edifício Brock Commons, por outro lado, optou-se por manter as dimensões das peças de madeira e como forma de garantir o tempo de resistência ao fogo foram aplicadas placas de gesso acartonado sobre a madeira. Em todos os casos, as conexões metálicas se encontravam protegidas pela madeira. Além de medidas passivas de proteção, elementos como sprinklers e sensores de fumaça e sistemas reservas de abastecimento de água e energia elétrica, foram empregados para garantir a segurança da edificação.

4.8 - Contexto brasileiro

A madeira, conforme aponta Shigue (2018), sempre esteve presente na arquitetura brasileira, seja nas edificações dos povos indígenas, nas edificações coloniais ou em casas da região sul do país. No século XX, com a popularização do concreto armado, a madeira começou a perder espaço enquanto material estrutural e passou a ser utilizada principalmente em pisos, esquadrias e nas estruturas das coberturas. Nos últimos anos, o advento da madeira engenheirada trouxe novas perspectivas para a utilização do material no contexto da construção civil nacional, onde com cada vez mais frequência nos deparamos com edificações que utilizam do material como principal material estrutural, especialmente casas de alto padrão.

Em seu trabalho, Shigue (2018), realizou entrevistas com diversos agentes que permeiam o assunto no contexto nacional, dentre eles representantes de iniciativas de promoção da madeira, empresas de manejo florestal, de beneficiamento, construtoras e projetistas para entender como enxergam a situação das construções de madeira no país, apontando alguns entraves e ações para o desenvolvimento do setor existentes no Brasil.

Segundo o autor, os principais entraves estão diretamente ligados à falta de conhecimento, seja por conta do preconceito em relação ao material, a falta de mão de obra qualificada e a percepção de aumento de custos da obra. Shigue aponta que a consolidação do concreto armado no Brasil, acarretou na redução da produção e difusão de conhecimento sobre a madeira e suas aplicações no país, o que acarretou na diminuição da demanda e consequentemente na escassez de mão de obra qualificada. Os preconceitos relacionados ao material já foram apresentados anteriormente, mas de maneira geral, se resumem a percepções equivocadas sobre a resistência, durabilidade e inflamabilidade do material.

Com relação ao custo, alguns entrevistados apontam que construir com madeira pode ser mais caro que em outros sistemas, no entanto, alguns fatores podem tornar a madeira mais atraente se comparada a outros sistemas, o fato da madeira ser leve, possibilita a construção de fundações mais econômicas, além disso, a construção com madeira engenheirada, por envolver processos de pré-fabricação, pode ser executada em um curto período de tempo, o que traz economias significativas para a execução da obra.

Apesar de já existirem empresas produtoras de ambos os materiais no país, são produzidos em pequena escala, como afirma Patrick Reydams, engenheiro florestal da Amata, em entrevista à Maisa Infante do portal Projeto Draft (2022). Tendo em vista a crescente demanda pelos produtos engenheirados de madeira, como aponta o portal, investimentos estão sendo realizados no setor, como é o caso da fábrica da Urbem (empresa do grupo Amata) no Paraná, que recebeu um aporte de 100 milhões de reais para investimento e maquinário que possibilitará um aumento significativo da produção da empresa.

Articulações entre instituições do setor florestal, empresas,

universidades e o governo tem o potencial de amenizar os entraves existentes no país. No Brasil destacam-se a Comissão Casa Inteligente, o Programa Madeira é Legal e o Núcleo de Referência em Tecnologia da Madeira, que visam o desenvolvimento da tecnologia, proteção das florestas e promoção da madeira enquanto material de construção, disseminando informações sobre o material, apresentando casos de sucesso e capacitando profissionais da construção civil (SHIGUE, 2018).

Shigue (2018) aponta que apesar dos avanços recentes, o setor ainda se encontra em um estado preliminar de desenvolvimento. A cultura do uso da madeira enquanto estrutura de edifícios ainda é pouco difundida e o material ainda continua sendo destinado a funções provisórias como formas para concretagem e tapumes. No entanto, o autor enxerga que existe uma tendência de aumento do uso da madeira pelas características físicas do material, mas principalmente, pelo potencial de reduzir os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil. Como destaca o autor, isso não significa a primeiro momento, dizer que o concreto e o aço serão substituídos pela madeira em larga escala, mas é possível que haja, com o passar do tempo, uma maior compreensão das potencialidades do material e consequentemente uma maior demanda pelo mesmo, seja para a construção de edifícios construídos com a maior parte dos elementos em madeira ou para edifícios com estruturas híbridas de concreto, aço e madeira.

5 - PROJETO

Figura 65: Imagem aérea da região central de Conselheiro Lafaiete
Fonte: Prefeitura de Conselheiro Lafaiete, 2019

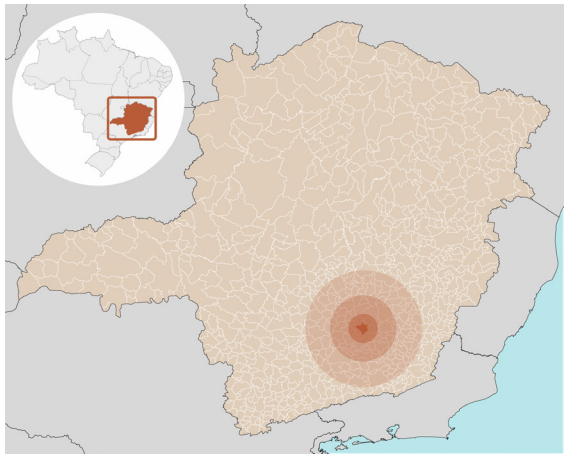
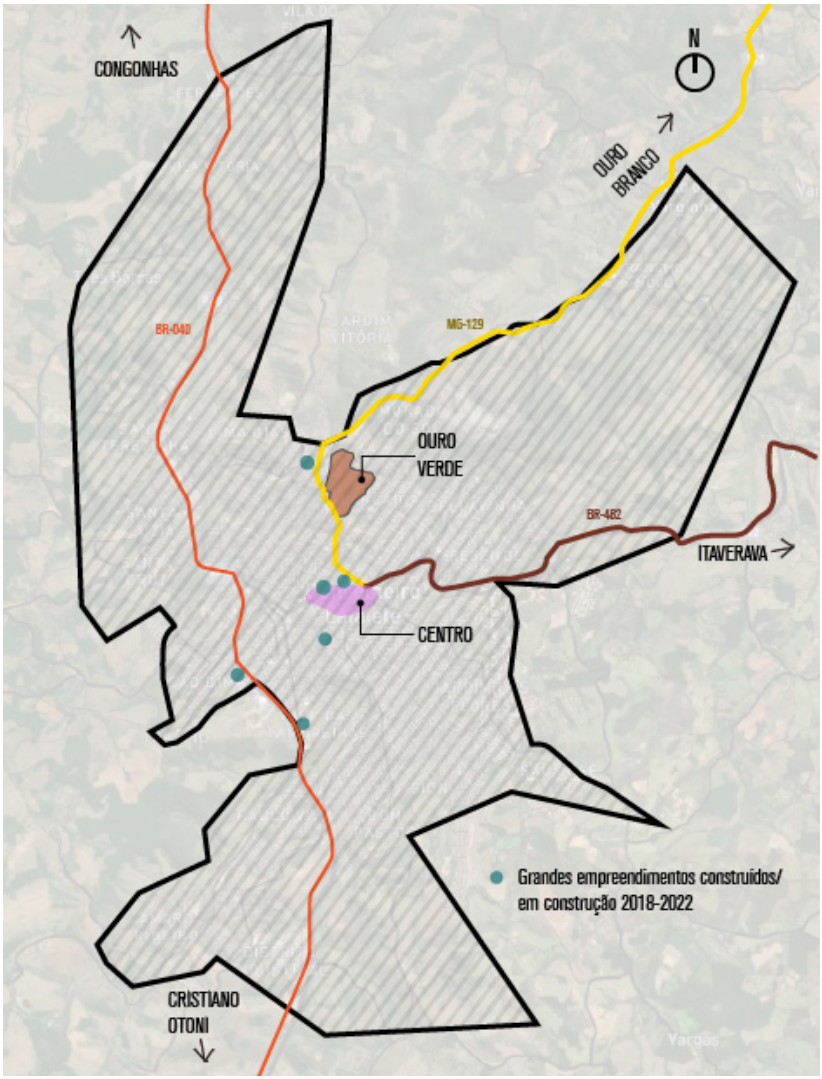


Figura 66: Localização do município de Conselheiro Lafaiete.
Fonte : IBGE (adaptado pelo autor)

Figura 67: Mapa distrito sede de Conselheiro Lafaiete com destaque para os empreendimentos construídos/em construção de 2018 a 2022.
Escala indefinida.
Fonte: SOUZA, 2019 (adaptado pelo autor)



5.1 - Contexto

A fim de avançar no conhecimento das técnicas de projetação em madeira para edifícios verticalizados, será desenvolvido anteprojeto de um edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira no município de Conselheiro Lafaiete – MG.

O município está localizado a 96 km de Belo Horizonte e ao longo dos anos 1980, se consolidou como um polo voltado à prestação de serviços em apoio as atividades industriais e de mineração que se desenvolvia na região, especialmente nos municípios de Congonhas e Ouro Branco. Atualmente, a grande oferta de serviços e infraestruturas, lojas de varejo, comércio local, franquias, bares, restaurantes, centros educacionais, consultórios médicos e hospitais, além de sua posição geográfica estratégica, são alguns dos fatores que posicionam Conselheiro Lafaiete como uma cidade capaz de exercer influências nas demais cidades de sua microrregião (SOUZA, 2019).

De acordo com Souza (2019), nos últimos anos, existe uma tendência de investimentos na região central e em novas áreas do município para a criação de empreendimentos. Especialmente em regiões de expansão, com boa acessibilidade e proximidade às rodovias além de investimentos na centralidade principal, destacada em roxo na figua ao lado (figura 67). A figura 67, destaca a localização de novos empreendimentos, implantados ou em processo de implantação nos principais acessos do município e na região central em 2018 e 2022, destacando-se grandes supermercados, centro comercial e de ensino.

No setor Norte da cidade (figura 68), próximo à saída para Ouro Branco, a Fundação João Pinheiro (2022), aponta uma tendência de destinação de atividades comerciais e serviços em direção ao bairro Ouro Verde, localizado a 1,5km do centro (20 minutos de deslocamento a pé), tais como escola, estabelecimento de aluguel de equipamentos, lojas de materiais de construção, salão de festas e bares.

Nas imediações do bairro existem diversos equipamentos como a Faculdade Santa Rita (FASAR), o Hospital Regional, ainda em processo de execução, a Colônia dos Diabéticos e a Usina de Asfalto. Às margens da rodovia MG-129 existe uma pista de caminhada bastante utilizada pelos moradores da cidade. Além disso, o bairro se localiza a menos de 700m (9 minutos de caminhada) da Praça do Cristo, considerada um dos principais espaços livres de uso público do município. A implantação do bairro o torna muito atrativo para moradores e comerciantes do município.

O surgimento e consolidação de novas centralidades, como apresentado por Gumuchdjian e Rogers (2010) possibilita, se pensadas de maneira integrada ao contexto urbano, uma maior eficiência no consumo de recursos, garantindo um melhor aproveitamento da infraestrutura urbana e reduzindo os deslocamentos intra-urbanos da população.

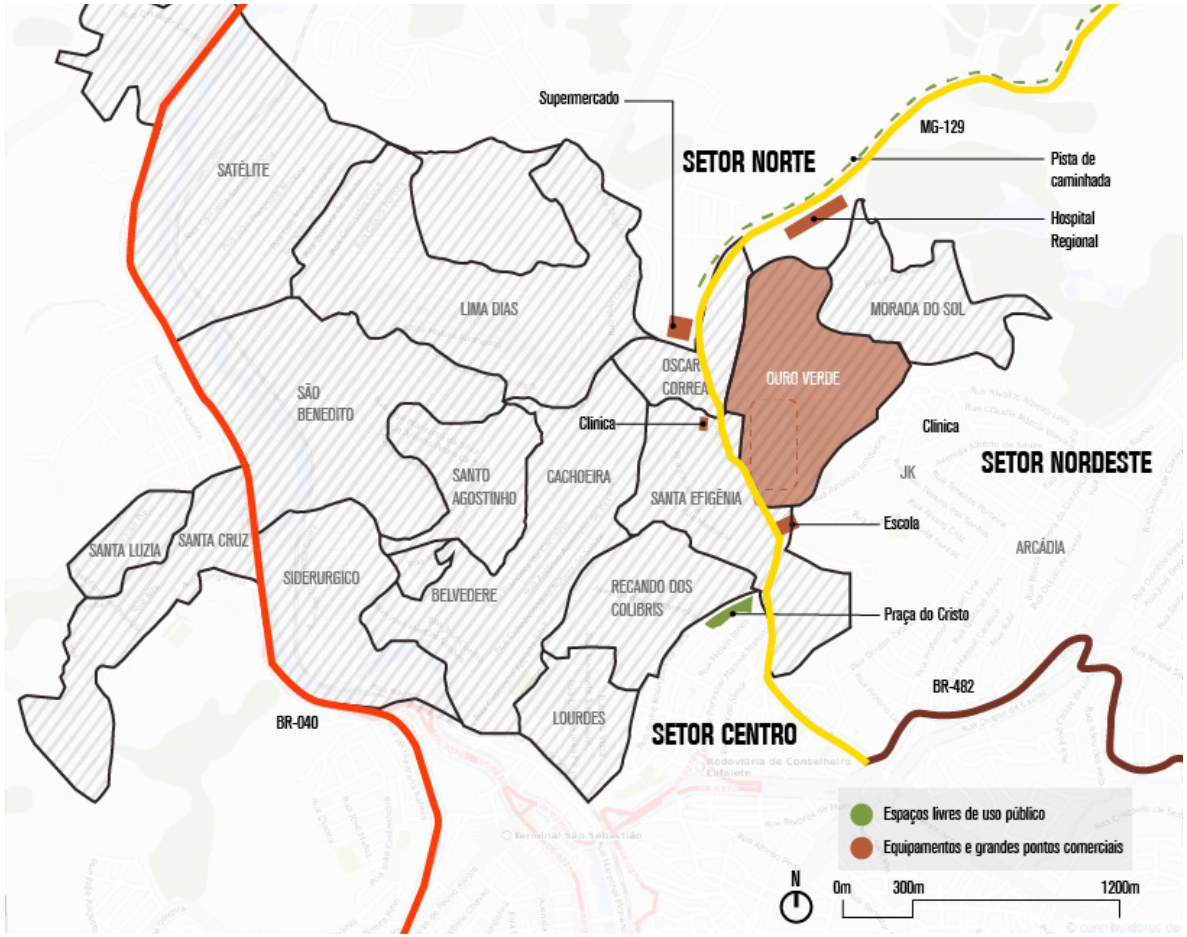


Figura 68: Setor norte de Conselheiro Lafaiete
Fonte: Fundação João Pinheiro, 2022 (adaptado pelo autor)

Figura 69

Figura 69: Escola localizada no acesso principal do bairro Ouro Verde
Fonte: Google Maps, 2022

Figura 70

Figura 70: Veículos estacionados em frente a um restaurante localizado no bairro.
Fonte : Acervo pessoal,2022

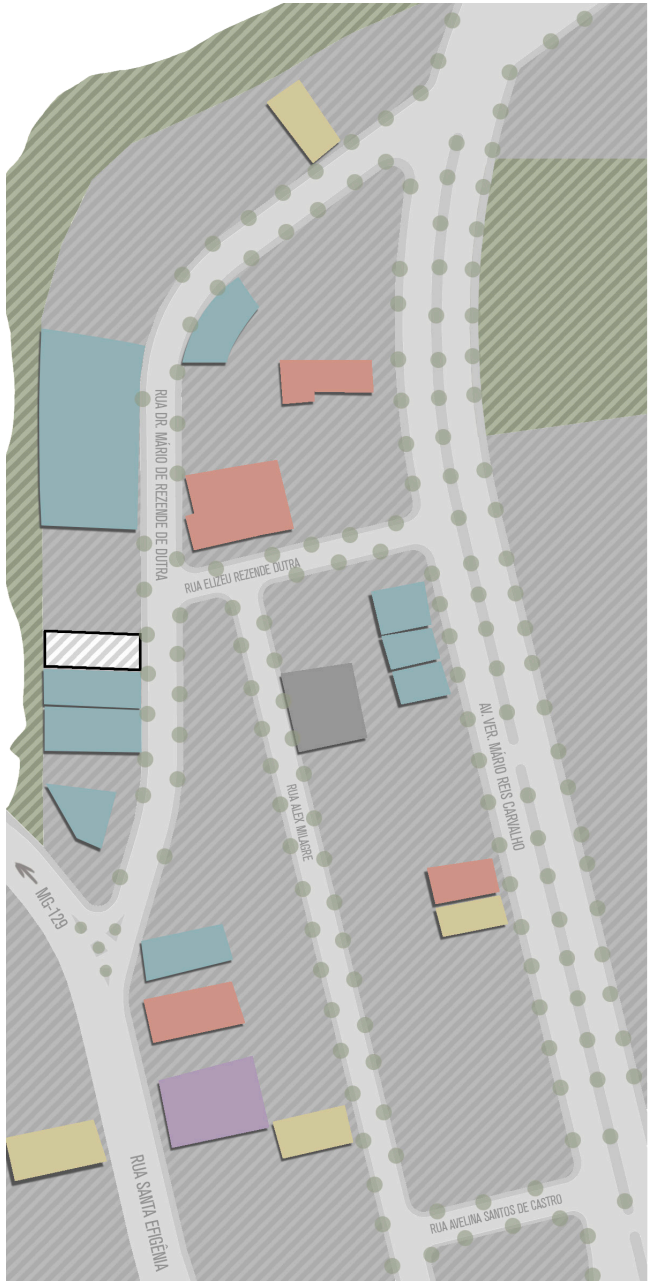


Figura 71: Mapa de usos e localização do terreno de estudo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Figura 72: Edifícios de uso comercil localizados na Rua Dr. Mário de Rezende de Dutra
Fonte : Acervo pessoal, 2022

Figura 73: Edifícios de uso misto, residenciais e de uso comercial localizados na Av. Mário Reis Carvalho.
Fonte : Google Maps, 2022

Figura 74: Edifícios de uso comercil localizados na Rua Dr. Mário de Rezende de Dutra
Fonte: Acervo pessoal, 2022

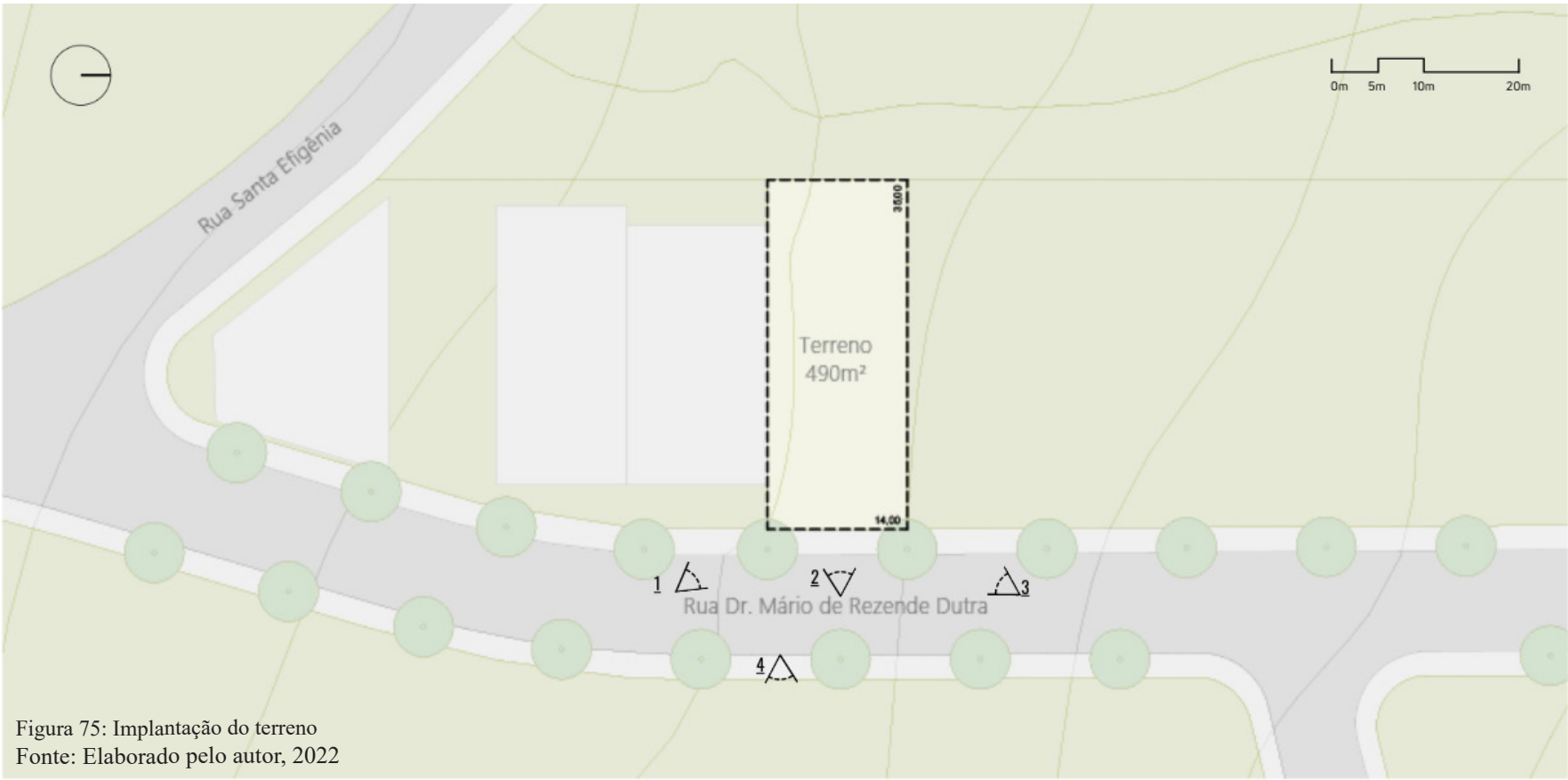


Figura 75: Implantação do terreno
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Figura 76: Ponto de vista 1
Fonte: Acervo pessoal, 2022

Figura 77: Ponto de vista 2
Fonte: Acervo pessoal, 2022

Figura 78: Ponto de vista 3
Fonte: Acervo pessoal, 2022

Figura 79: Ponto de vista 4
Fonte: Acervo pessoal, 2022

Levando em conta as informações referentes ao município proponho o desenvolvimento de um anteprojeto arquitetônico de um edifício de uso misto com estrutura de madeira engenheirada que contribua para o desenvolvimento e atenda as demandas imobiliárias atuais e futuras da região. Dessa forma, seu programa será constituído por unidades habitacionais com tipologias variadas que atendam a diversos públicos e configurações familiares, ponto comercial e estacionamento, conforme exigido pela legislação.

O terreno escolhido é o lote 04 da quadra 04 (figura 75), localizado em um dos acessos do bairro, na Rua Dr. Mário de Rezende de Dutra. O lote possui 14m de testada e 35m de comprimento, totalizando 490m² de área. Possui topografia regular e com um desnível de 1,75m paralelmente à rua, conforme observado nas figura 76,77 e 78. Tendo como base o valor de outros terrenos do bairro encontrados em corretoras e imobiliárias, estipula-se que o terreno seja avaliado por volta de R$ 500.000,00.

A ocupação do bairro é recente e de maneira geral, o que se observa nas proximidades do terreno são galpões comerciais, edifícios residenciais e comerciais, lojas de materiais de construção e terrenos não ocupados. Na porção posterior do lote se encontra uma área verde e a Rua Santa Efigênia, que dá acesso ao município pela MG-129 e apresenta fluxo intenso de veículos.

A Rua Dr. Mário de Rezende de Dutra possui fluxo ameno de pedestres e veículos, no entanto com a tendência de expansão da ocupação do bairro, é provável que o fluxo aumente. A via pavimentação asfáltica, as calçadas possuem 2,45m de largura e são arborizadas.

O terreno se encontra na Zona Comercial 5 (ZC5) onde se aplicam os seguintes parâmetros urbanísticos.

PARÂMETROS URBANÍSTICOS	Zona Comercial 5 - ZC5
Índice de aproveitamento	5,5
Área construida	2695 m²
Taxa de ocupação	80% (térreo) 75% (outros pavimentos)
Taxa de permeabilidade	20%
Afastamento frontal	1,50m
Afastamento fundos	1,50m
Afastamento lateral	0,00m (térreo) 1,50m (outros pavimentos)
Altura máxima	20,50m*
Número de pavimentos	6

* Na altura máxima das edificações definidas na Lei Complementar N° 31 de 2011 não se inclui as instalações definidas a equipamentos de aquecimento solar, casa de máquinas e telhado não habitado.

Figura 80 : Tabela de parâmetros urbanísticos
Fonte: CONSELHEIRO LAFAIETE. Lei Complementar N º 077. Altera a redação da Lei Complementar Nº 031, de 04 de Abril de 2011, que "Dispõe sobre o uso e ocupação do solo urbano no município de Conselheiro Lafaiete, e dá outras providências".

5.2 - Proposta projetual

O início do projeto se deu a partir da compreensão das condicionantes locais e os parâmetros urbanísticos do terreno. O terreno, conforme apresentado anteriormente, possui 490 m² de área e um desnível de 1,75m paralelo à testada do lote (figura 81) . A partir da demarcação da taxa de ocupação máxima, dos afastamentos (figura 82), da altura máxima e do número de pavimentos permitidos pela legislação foi possível estimar um envelope do edifício que contemplasse os aspectos préviamente levantados (figura 83).

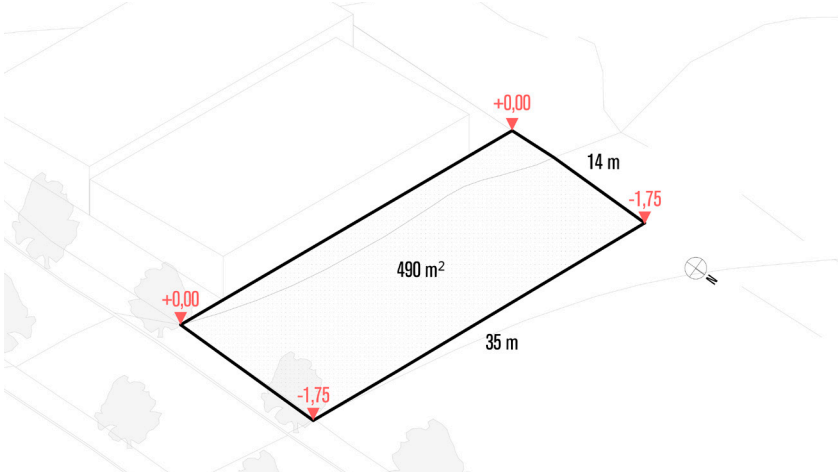


Figura 81
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

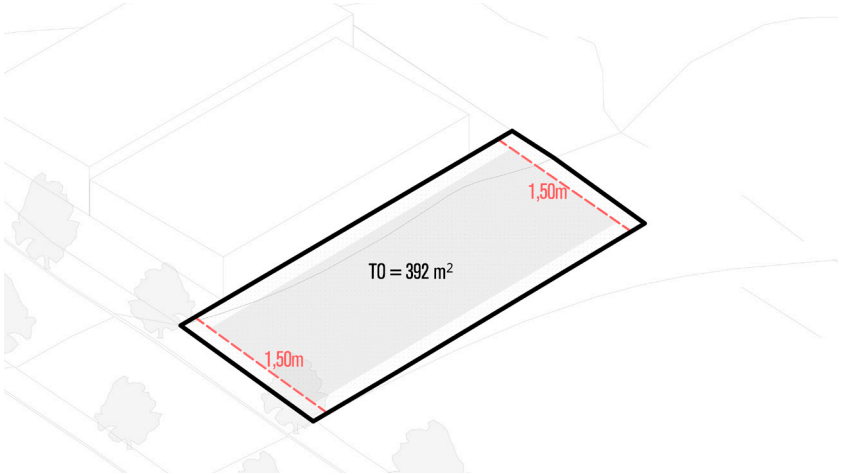


Figura 82
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

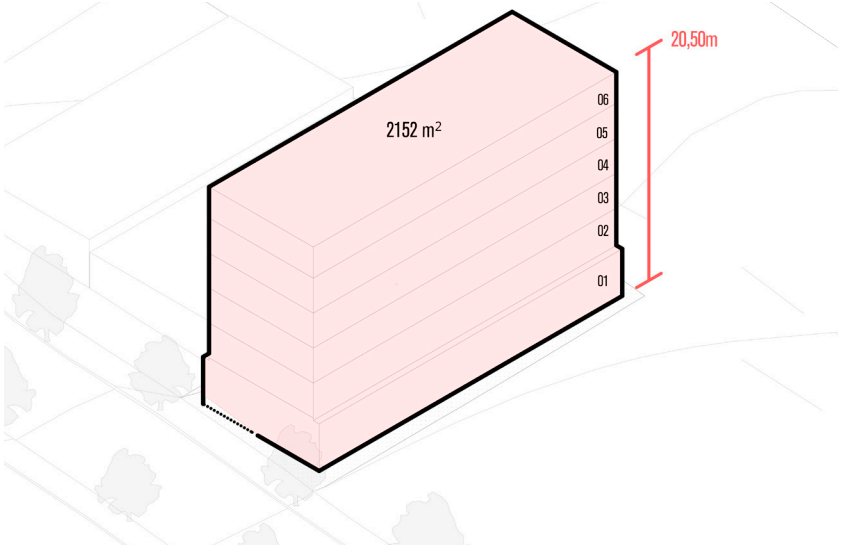


Figura 83
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

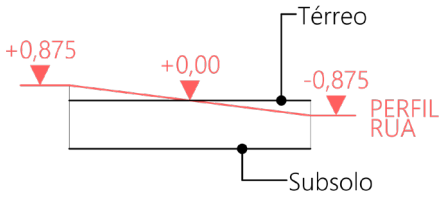


Figura 84
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

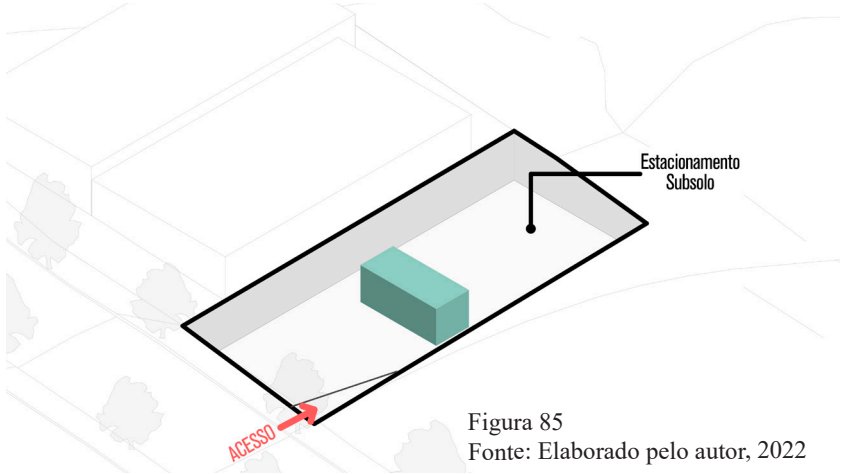


Figura 85
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

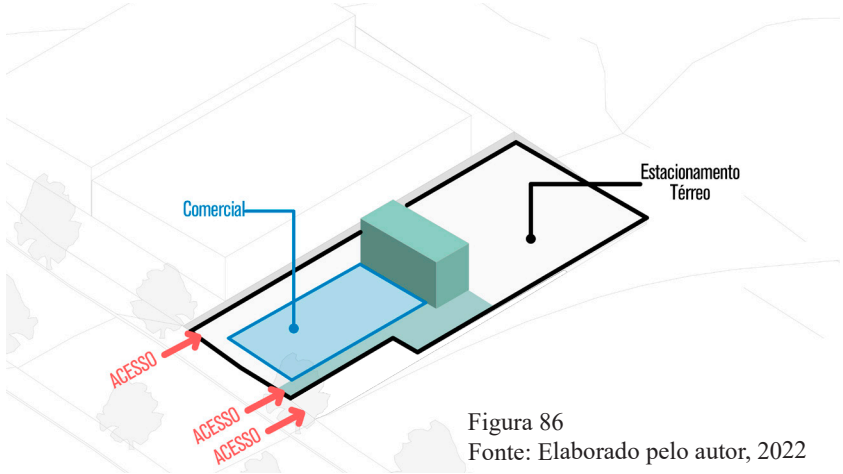


Figura 86
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Vagas de estacionamento previstas na LUOS (2011)

Uso: **Residencial Unifamiliar**
Quantidade de vagas: 1 vaga por unidade

Uso: **Residencial Multifamiliar**
Área: Unidades < ou = 50m²
Quantidade de vagas: 1 vaga por 2 unidades

Uso: **Residencial Multifamiliar**
Área: Unidades > 50m²
Quantidade de vagas: 1 vaga por unidade

Uso: **Não Residencial**
Área: Unidades < ou = 30m²
Quantidade de vagas: 1 vaga por 3 unidades

Uso: **Não Residencial**
Área: 30m² < unidade < ou = 60m²
Quantidade de vagas: 2 vaga por 3 unidades

Uso: **Não Residencial**
Área: Unidades > 60m²
Quantidade de vagas: 1 vaga por unidade

Observando as exigências legais que dispõe sobre o número de vagas de estacionamento, o envelope elaborado na etapa anterior e levando em consideração a ideia de se trabalhar com tipologias de tamanhos variados, foi possível inferir a necessidade de se trabalhar com um estacionamento distribuído em dois níveis distintos, uma parte localizada no subsolo e outra no pavimento térreo.

A partir disso, a implantação se deu com a definição do nível +0,00m do projeto na cota mediana do desnível, possibilitando a criação do acesso ao subsolo na porção mais baixa do terreno, o que reduz o tamanho da rampa, o acesso ao estacionamento do térreo pela da porção superior e o acesso de pedestres ao ponto comercial e ao edifício pela porção central da testada do terreno.

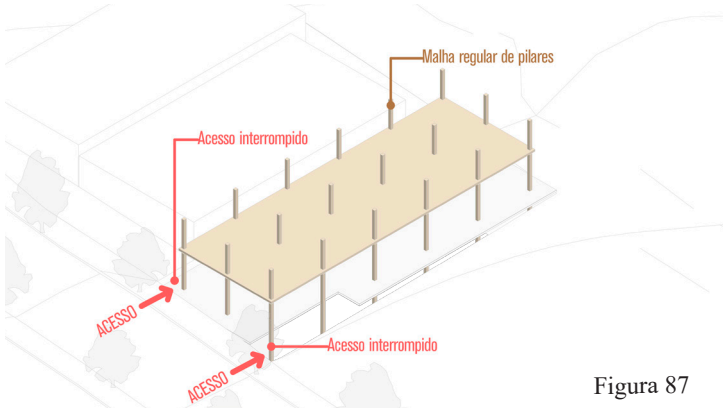


Figura 87

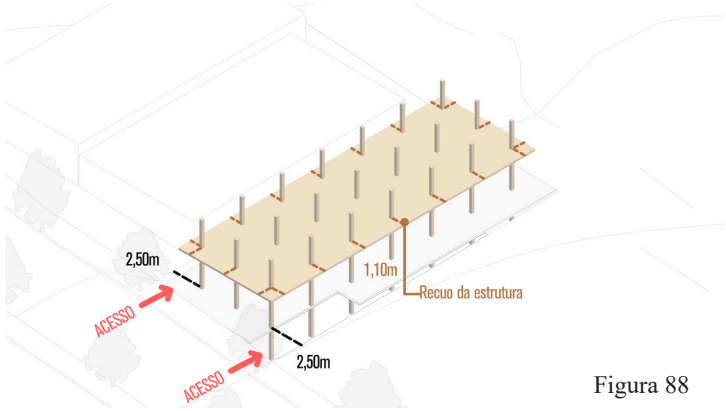


Figura 88

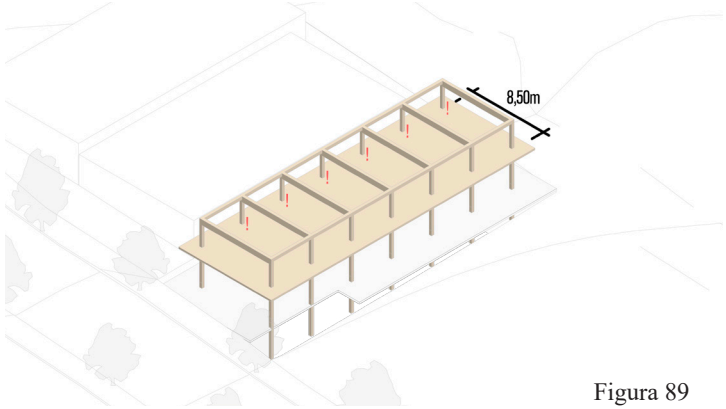


Figura 89

Figuras 87,88 e 89
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Como forma de compreender melhor as possibilidades de distribuição espacial do edifício e relações com o sistema construtivo de madeira, optou-se por dar continuidade à proposta através de estudos da distribuição estrutural. Em primeiro momento, conforme apresentado no diagrama ao lado (figura 87), foi experimentado uma solução onde os pilares foram posicionados nas extremidades da área edificável do terreno e foram distribuídos em uma malha regular. Tal solução, favorecia uma modulação das peças mais racional e possibilita uma boa circulação dos veículos nos pilotis No entanto os pilares laterais impossibilitam o acesso dos veículos aos acessos previamente estabelecidos.

Em seguida foi experimentada uma solução com pilares recuados (figura 88), que possibilitaram o acesso dos veículos e os balanços ajudaram na proteção das peças estruturais. Essa solução, apesar de apresentar vantagens, dificultava o trânsito de veículos nos estacionamentos.

Em um terceiro momento, foi pensada uma estrutura com grandes vãos e com pilares recuados (figura 89). Esta solução se apresentou como uma solução interessante, uma vez que soluciona os problemas apresentados anteriormente. Os grandes vãos são excelentes para edifícios comerciais e que se aproveitam de plantas livres. No caso de um edifício predominantemente residencial, os grandes vãos, apesar de poderem ser aproveitados como uma solução interessante, não são essenciais e poderiam acarretar em problemas no manuseio e transporte das peças. Peças menores, por sua vez, facilitam o processo de transporte e montagem da estrutura.

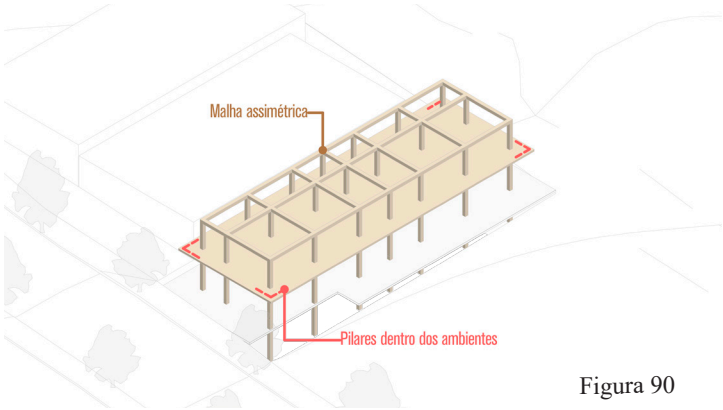


Figura 90

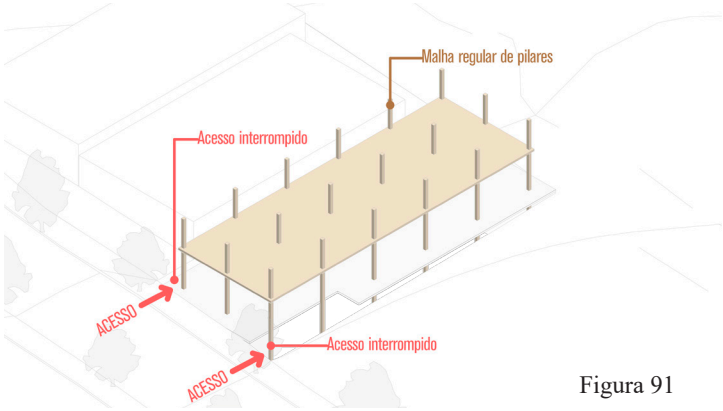


Figura 91

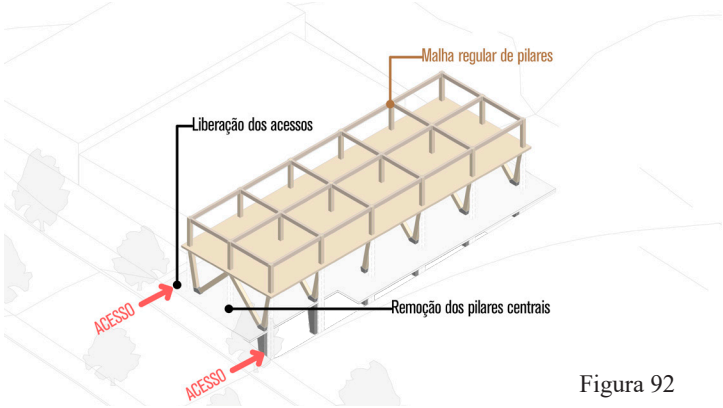


Figura 92

A solução ao lado (figura 90), baseada em uma malha assimétrica de pilares recuados, se apresentou como uma solução eficiente no enfrentamento dos problemas previamente discutidos. Prosseguindo com a compreensão dessa solução e iniciando estudos das unidades percebeu-se que a distribuição assimétrica e recuada poderia dificultar o processo projetual e resultar em algumas áreas residuais no interior de ambientes, exigindo um estudo mais aprofundado da solução. Deixo claro que a solução não se apresentava como um empecilho para o andamento do projeto, no entanto, optou-se por prosseguir com os estudos a fim de encontrar uma solução que enfrentasse tais problemas prescritos, ao mesmo tempo que, através de uma maior racionalização e regularidade da distribuição estrutural, possibilitasse de forma menos complexa, a concepção de pavimentos diversos compostos por tipologias variadas, evitando a típica solução de edifícios concebidos a partir da replicação de um pavimento tipo.

Partindo das premissas colocadas e do retrospecto de propostas testadas, retomou-se a primeira ideia, composta por uma malha de pilares regular e com peças localizadas nas extremidades da área edificável. Dessa vez, foi estudada uma solução de pilares em “V” (figura 92) que permitiram a liberação dos acessos, anteriormente obstruídos, ao mesmo tempo que conferiram flexibilidade para a proposição das tipologias habitacionais, além de se apresentar como um recurso plástico interessante.

Figuras 90,91 e 92
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

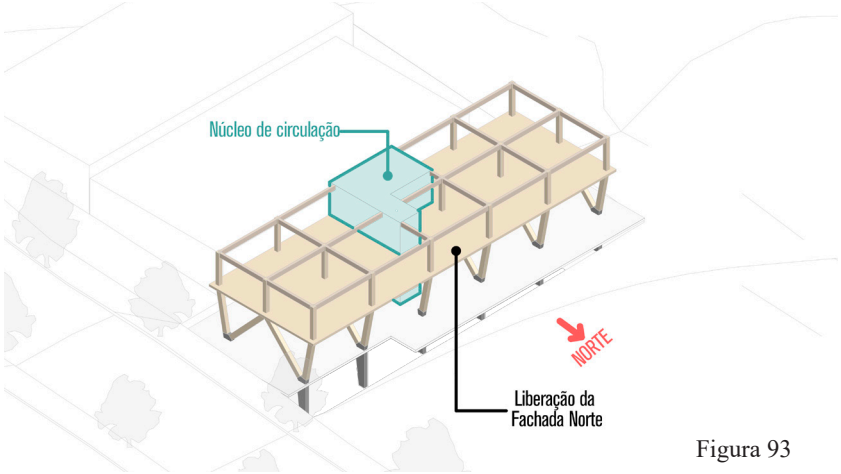
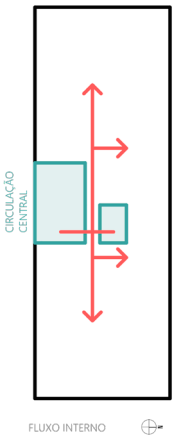


Figura 93



O posicionamento da circulação na porção centro-sul do terreno, se deu como forma de otimizar as áreas destinadas à circulação e liberar a fachada norte do edifício como forma de garantir uma maior disponibilidade solar para as unidades habitacionais.

Figura 94

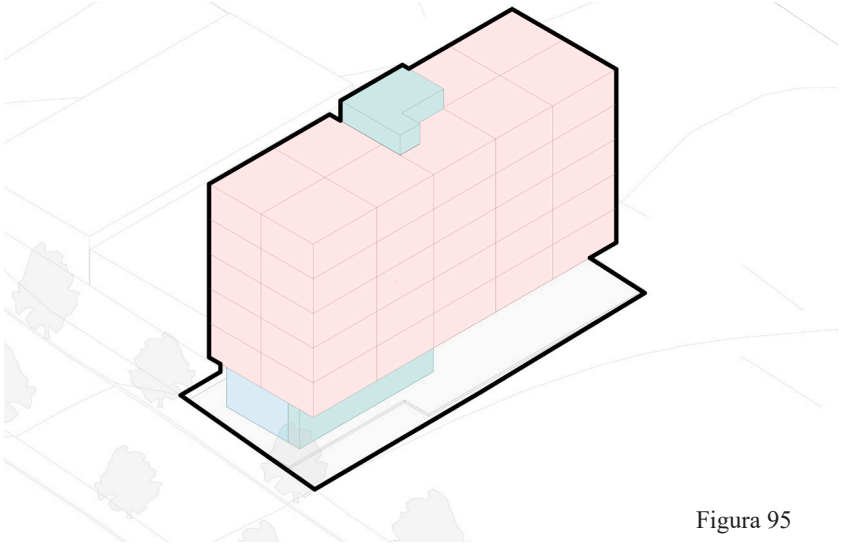


Figura 95

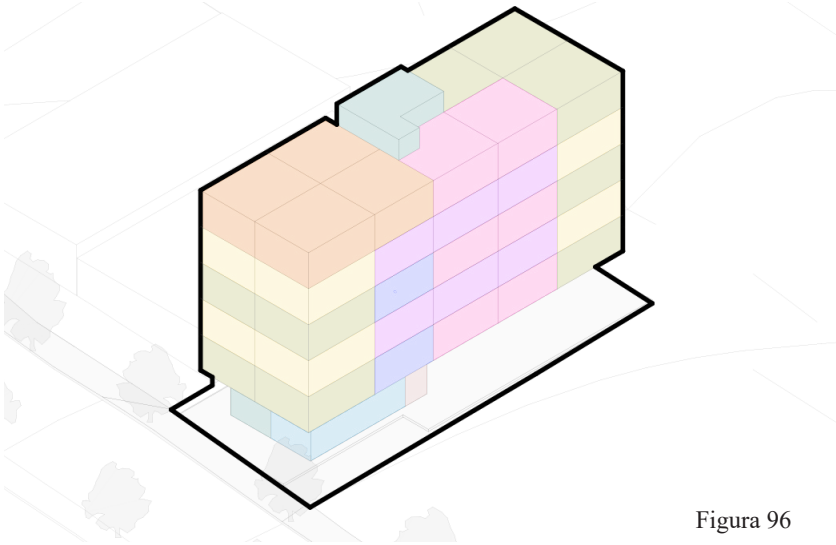


Figura 96

Figuras 93,94,95 e 96
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

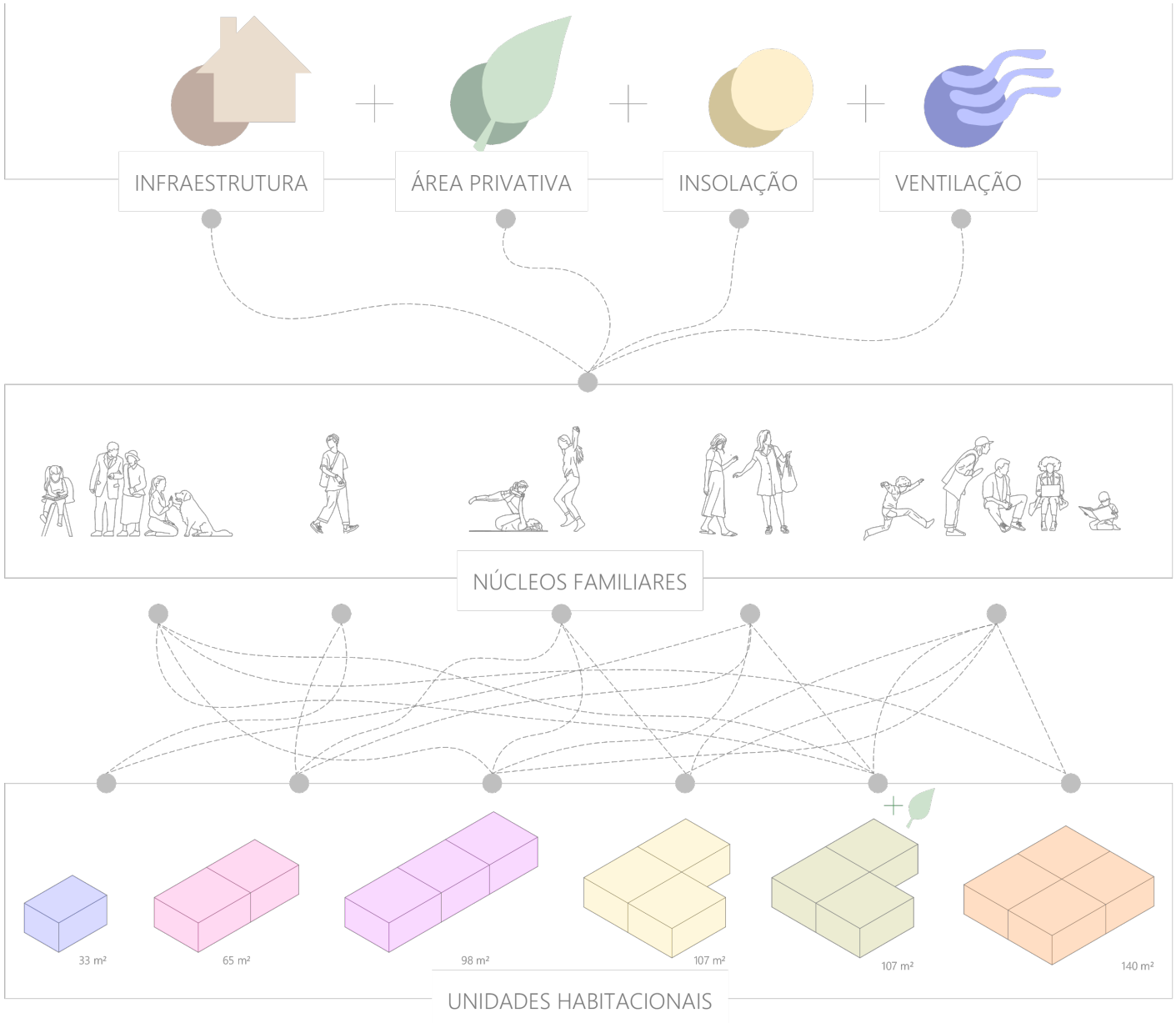


Figura 97

Como ponto de partida para a criação dos apartamentos, deliberou-se que todas as unidades, para além da infraestrutura básica habitacional (quarto, cozinha, banheiro e espaço de serviço), contem com áreas privativas conectadas com o exterior do edifício, possuam ventilação adequada e possuam ao menos uma face voltada exposta à fachada norte da edificação, como forma de garantir o acesso à insolação à todas as unidades.

Partindo da malha regular oriunda da solução estrutural, foram criados módulos mínimos que ao serem combinados possibilitam a composição de tipologias diversas. Tal diversidade de unidades, se torna interessante especialmente quando olhamos para a complexidade das relações sociais contemporâneas, as diferentes formatações dos núcleos familiares e suas necessidades espaciais.

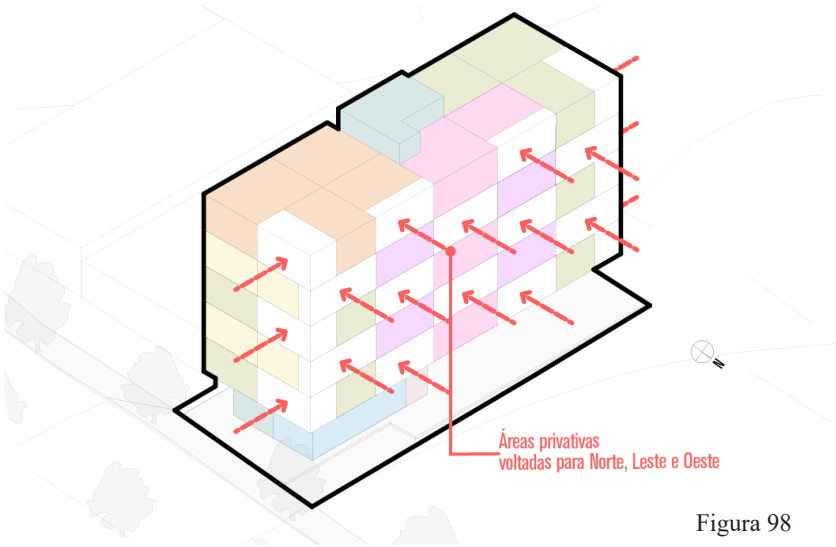


Figura 98

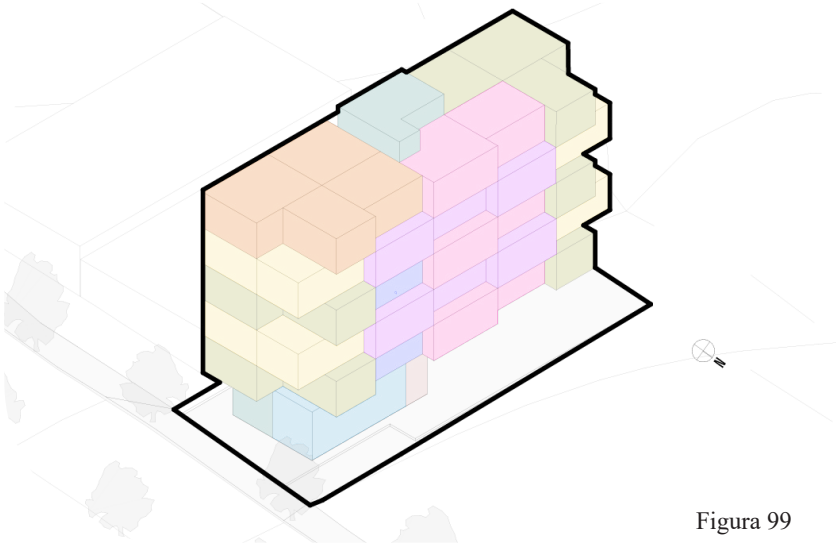


Figura 99

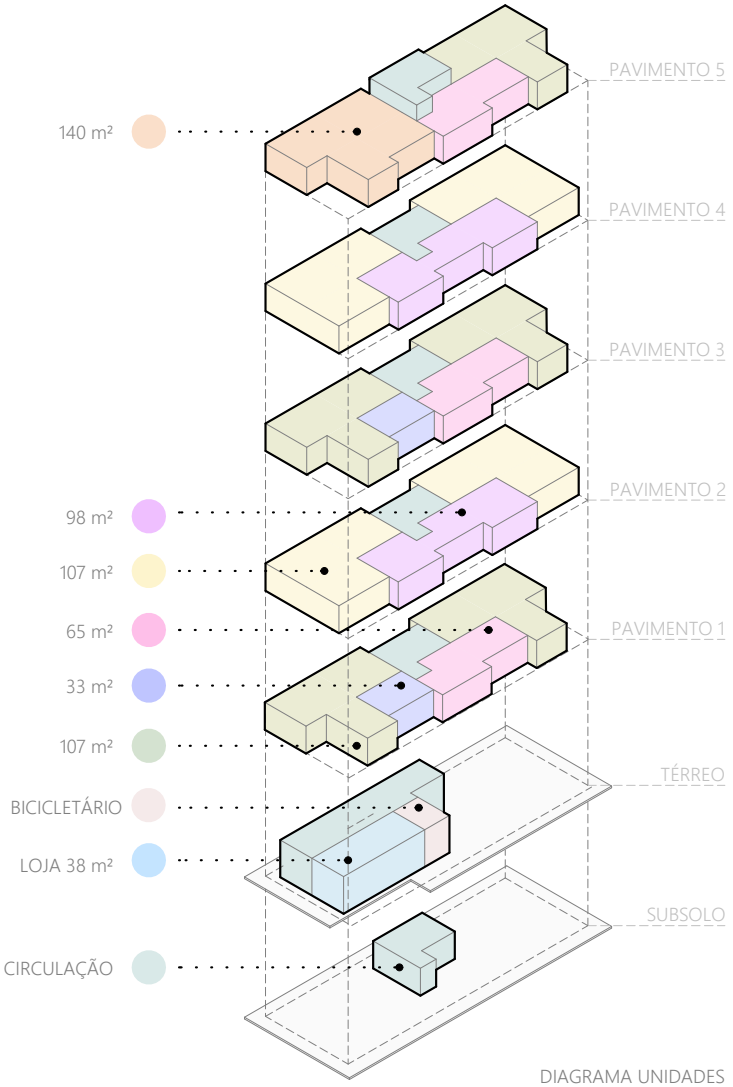


Figura 100

Do ponto de vista formal, foram estabelecidos recuos da fachada norte, leste e oeste para a criação de varandas privativas para todas as unidades. Tais recuos, também possibilitam a criação de áreas de contato entre o interior e o exterior do edifício, criando ambientes de contemplação e de conexão com a rua, como observado na figura 101.

Por fim, o programa do edifício é composto por 5 tipologias habitacionais, distribuídas em 17 unidades de apartamento com áreas que variam de 33m² a 140m², uma unidade comercial de 38 m², bicicletário e estacionamento com 16 vagas, sendo uma vaga destinada a pessoas com deficiência.

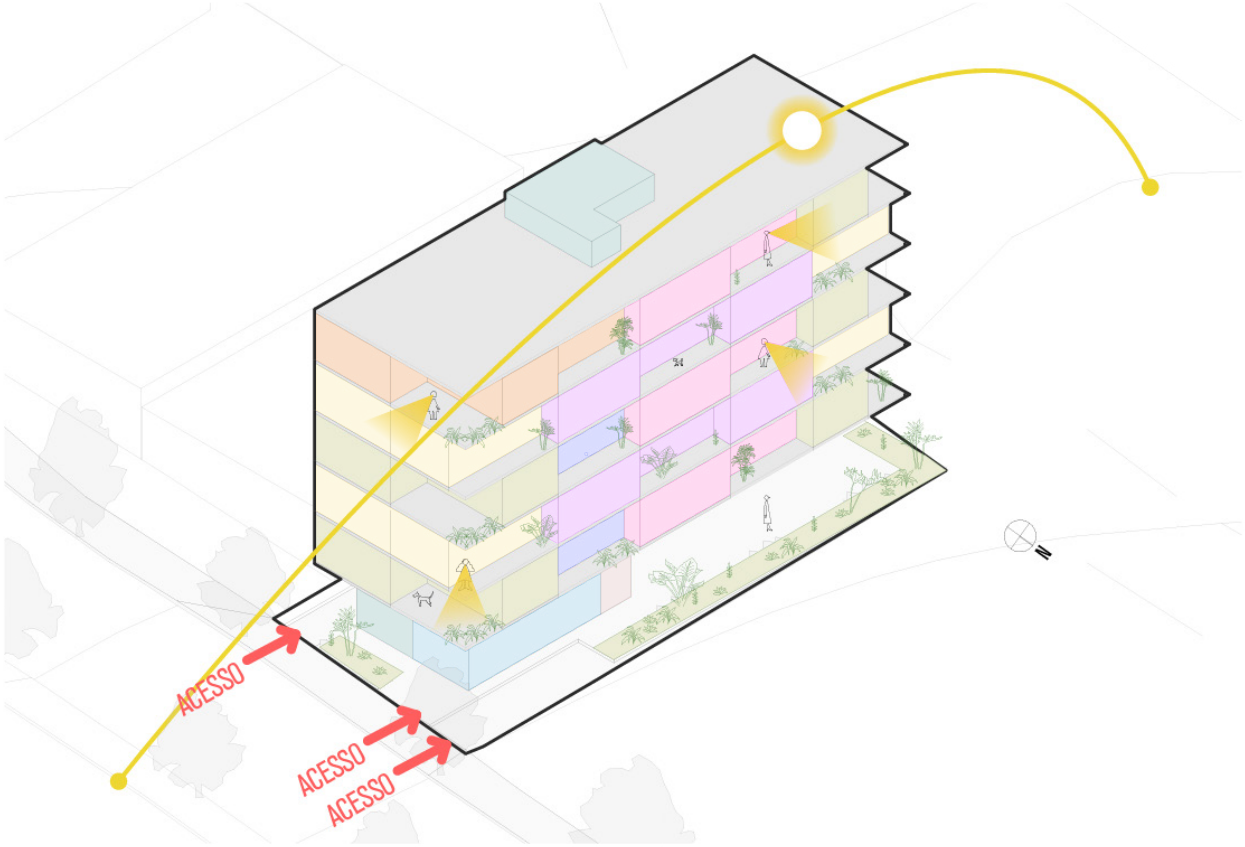


Figura 101

Figuras 98,99,100 e 101
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

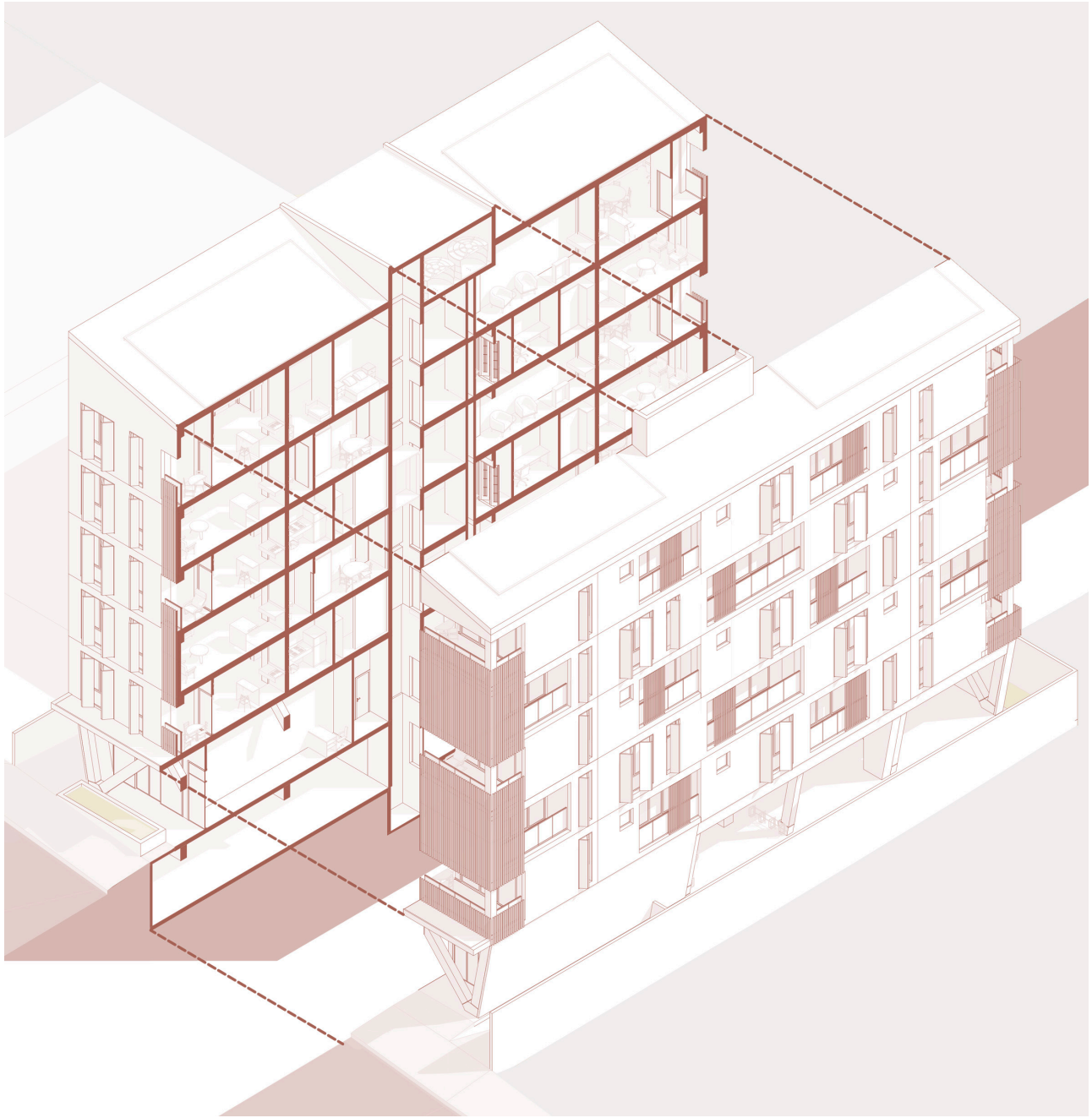


Figura 102
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

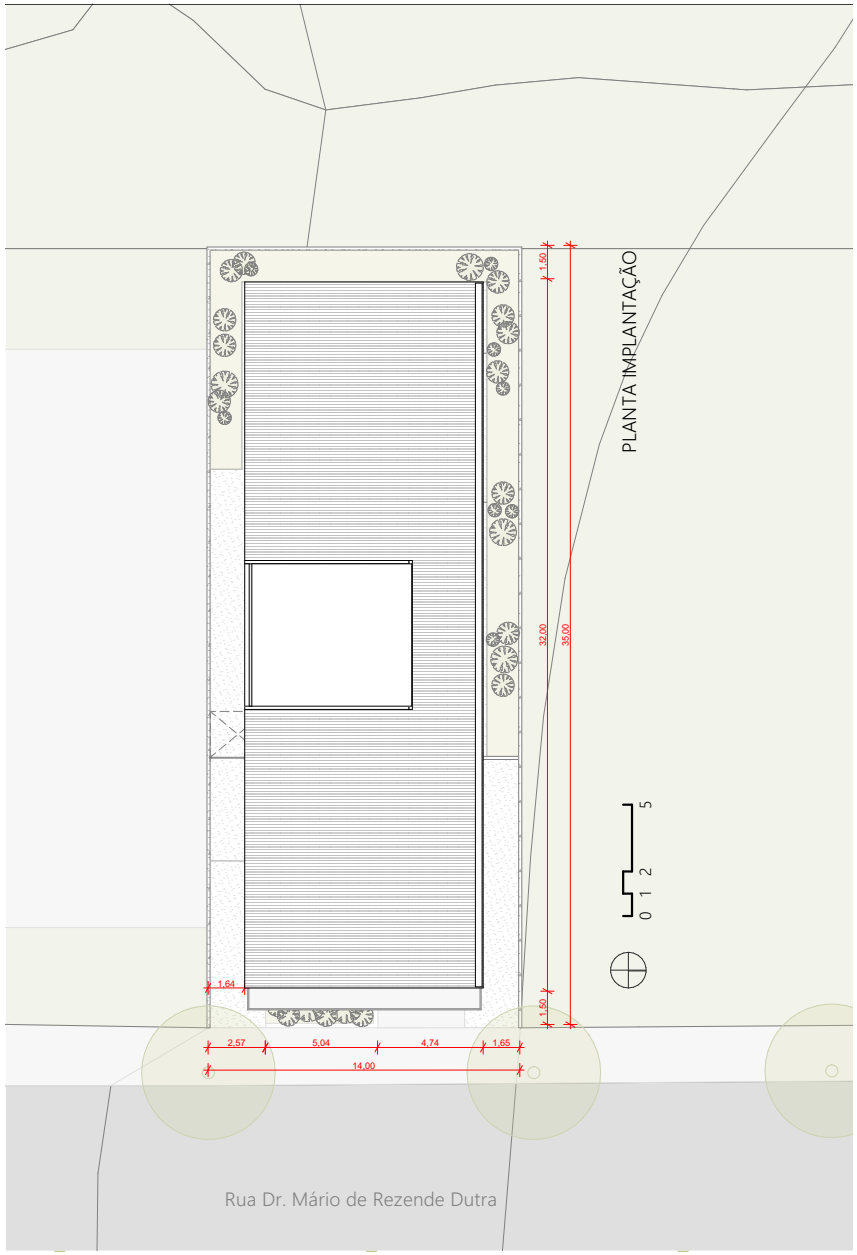


Figura 104
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

PARÂMETROS URBANÍSTICOS	Zona Comercial 5 - ZC5	Projeto
Índice de aproveitamento	5,5	2,90
Área construida	2695 m²	1416 m²
Taxa de ocupação	80% (térreo) 75% (outros pavimentos)	Adotados
Taxa de permeabilidade	20%	25,2%**
Afastamento frontal	1,50m	Adotado
Afastamento fundos	1,50m	Adotado
Afastamento lateral	0,00m (térreo) 1,50m (outros pavimentos)	1,50m
Altura máxima	20,50m	23,18m*
Número de pavimentos	6	6

* Na altura máxima das edificações definidas na Lei Complementar N° 31 de 2011 não se inclui as instalações definidas a equipamentos de aquecimento solar, casa de máquinas e telhado não habitado.

** Os pisos que dão acesso às garagens foram revestidos com piso intertravado.
§ 6 III - Quando for utilizado piso intertravado, para efeito de cálculo da taxa de permeabilidade, a área onde o referido piso for utilizado será multiplicada por 80% (oitenta por cento). (Lei Complementar Nº 31 de 2011)

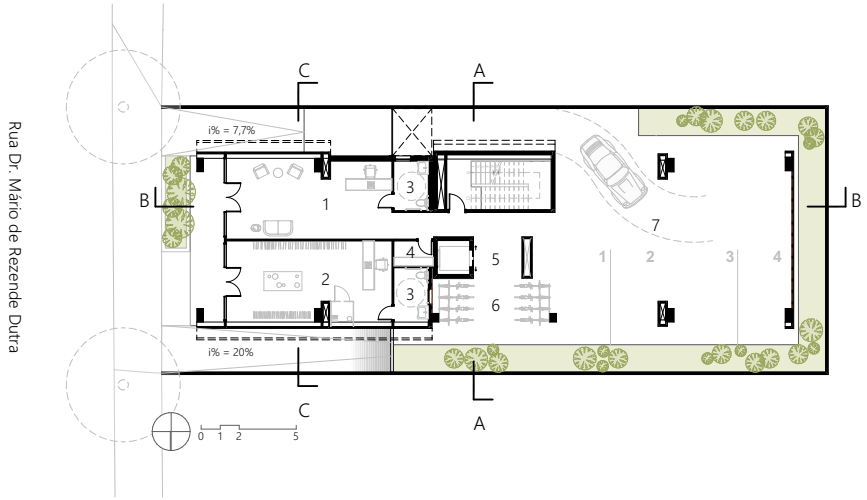
Figura 105: Tabela de parâmetros urbanísticos do projeto
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A implantação do projeto, conforme apresentado anteriormente, se deu a partir da consideração dos afastamentos e da taxa de ocupação prevista na Lei de Uso e Ocupação do Solo do município. Tal solução possibilitou a criação de áreas permeáveis nas laterais, na porção posterior e frontal do terreno, garantindo, juntamente com a adoção de pavimentação permeável nos acessos de veículos, uma taxa de permeabilidade superior à exigida pela legislação. Com relação à altura máxima, apesar do projeto ter ultrapassado o valor previsto em lei, a porção que ultrapassa não é habitada, sendo destinada às caixas d'água, caixa do elevador e instalações.

Figura 106: Fachada do edifício
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

PLANTA TÉRREO

Figura 107: Planta do térreo
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022



1 | Hall de entrada
2 | Ponto Comercial
3 | Banheiros acessíveis
4 | Depósito
5 | Hall /Circulação
6 | Bicicletário
7 | Estacionamento

No térreo do edifício encontram-se o hall de entrada, que conta com um ambiente de estar, recepção, depósito e banheiro acessível; um ponto comercial de 38m; um bicicletário e 4 vagas de estacionamento.

A marquise localizada na fachada leste do edifício que possui conexão direta com a Rua Dr. Mário de Rezende Dutra, possui função de proteger as peças de madeira que se encontram expostas além de acolher e proteger as pessoas do sol e da chuva.
O jardim frontal, pode ser apropriado servindo como um assento e garante certa privacidade para o acesso dos moradores do edifício.

Figura 108: Imagem de detalhe da fachada
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

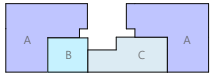
Figura 109: Fachadas sul e leste do edifício
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

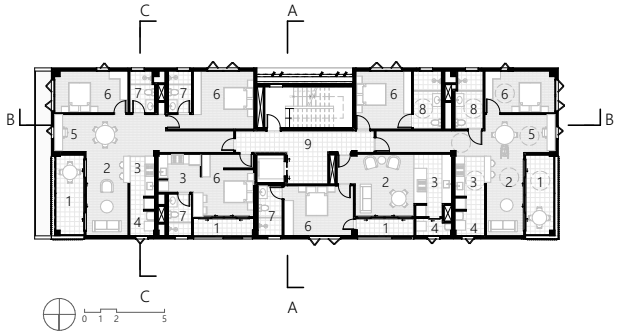
Figura 110: Interior recepção
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Figura 111: Imagem de detalhe da fachada
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Figura 112

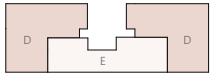
PLANTA PAVIMENTO 1

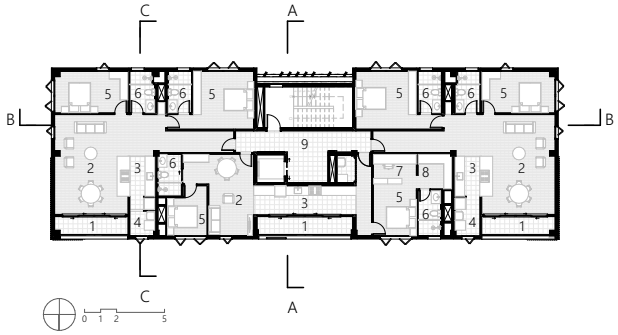




1 | Varanda
2 | Estar/Jantar
3 | Cozinha
4 | Lavanderia
5 | Escritório
6 | Quarto
7 | Banheiro
8 | Banheiro acessível
9 | Circulação

PLANTA PAVIMENTO 2



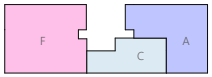


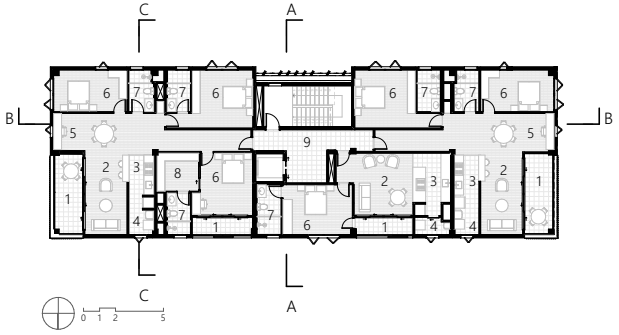
1 | Varanda
2 | Estar/Jantar
3 | Cozinha
4 | Lavanderia
5 | Quarto
6 | Banheiro
7 | Escritório
8 | Closet
9 | Circulação

Figura 113

Figura 114

PLANTA PAVIMENTO 5





1 | Varanda
2 | Estar/Jantar
3 | Cozinha
4 | Lavanderia
5 | Escritório
6 | Quarto
7 | Banheiro
8 | Closet
9 | Circulação

PLANTA COBERTURA

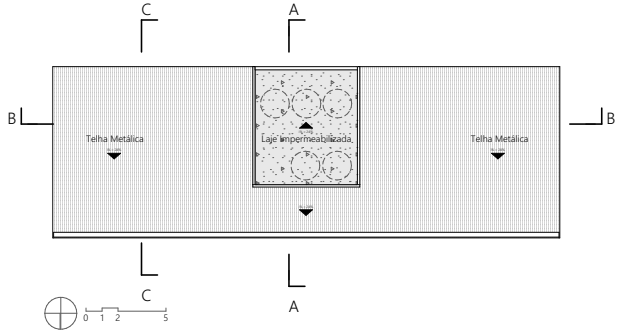
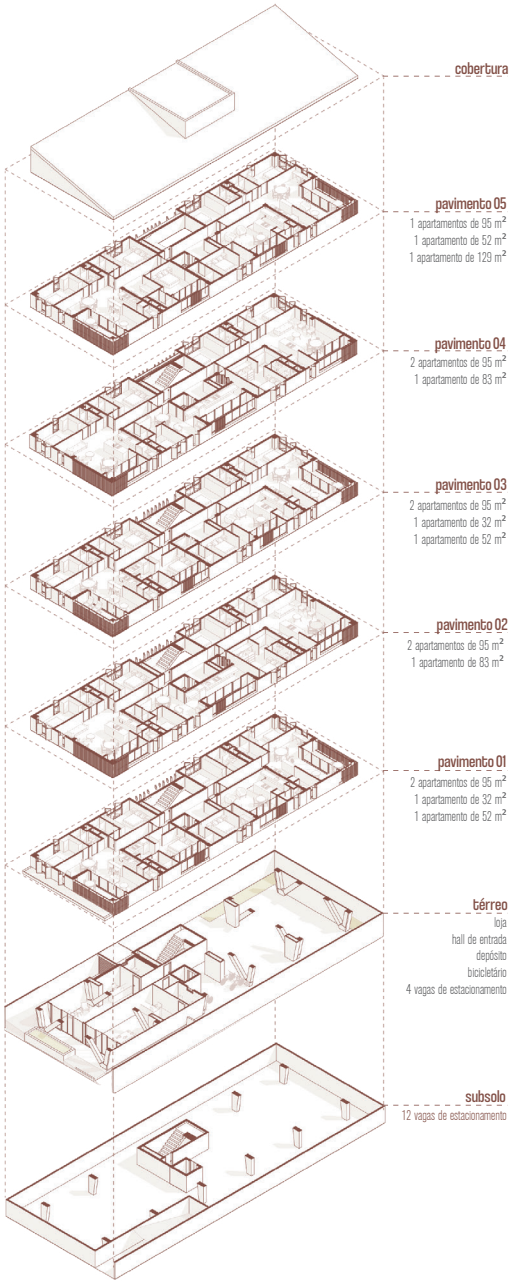


Figura 115

Figura 116
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022



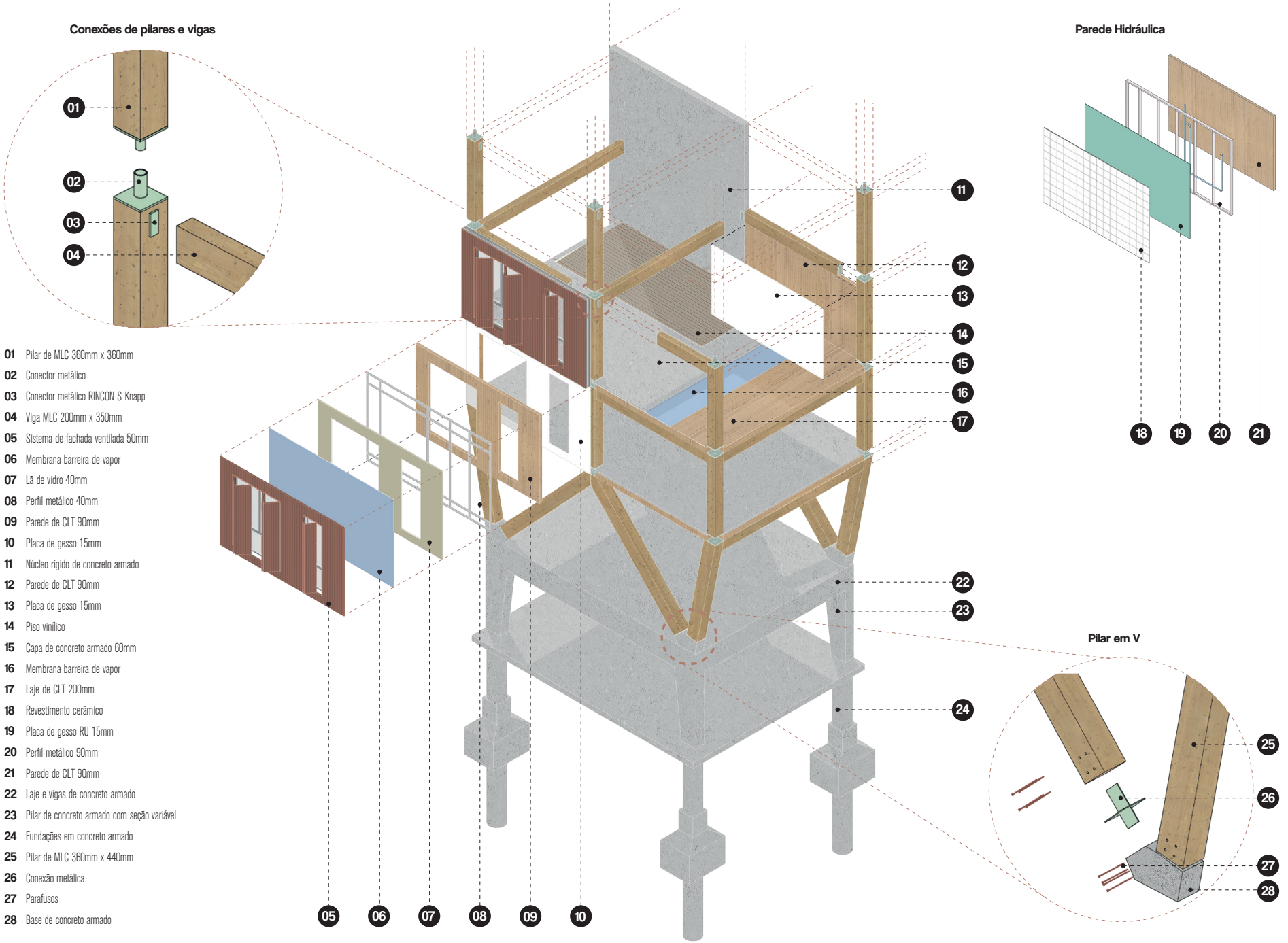
A distribuição das unidades do edifício, conforme comentado anteriormente, se deu de maneira a promover plantas de piso alternantes ao longo da altura do edifício.

O pavimento 01, é o primeiro pavimento habitacional, nele se situam quatro unidades, sendo duas unidades da tipologia A espelhadas, uma unidade da tipologia B e uma unidade da tipologia C. A configuração do pavimento 01 se repete no pavimento 03.

O pavimento 02, por sua vez, conta com três unidades, sendo duas delas da tipologia D espelhadas e uma unidade da tipologia E centralizada no piso. As tipologias A e D se diferem apenas na configuração e disposição de suas áreas privativas, sendo a área privativa da tipologia A voltada para a rua (fachada leste) e a da tipologia D voltada para a face norte do edifício. Assim como o andar anterior, a disposição do pavimento 02 se repete no pavimento 04.

A configuração do pavimento 05 é única e é composta pelas tipologias F, C e A, conforme pode ser observado nas figuras 114 e 116.

Figura 117: Detalhe estrutural
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022



01 Pilar de MLC 360mm x 360mm
02 Conector metálico
03 Conector metálico RINCON S Knapp
04 Viga MLC 200mm x 350mm
05 Sistema de fachada ventilada 50mm
06 Membrana barreira de vapor
07 Lã de vidro 40mm
08 Perfil metálico 40mm
09 Parede de CLT 90mm
10 Placa de gesso 15mm
11 Núcleo rígido de concreto armado
12 Parede de CLT 90mm
13 Placa de gesso 15mm
14 Piso vinílico
15 Capa de concreto armado 60mm
16 Membrana barreira de vapor
17 Laje de CLT 200mm
18 Revestimento cerâmico
19 Placa de gesso RU 15mm
20 Perfil metálico 90mm
21 Parede de CLT 90mm
22 Laje e vigas de concreto armado
23 Pilar de concreto armado com seção variável
24 Fundações em concreto armado
25 Pilar de MLC 360mm x 440mm
26 Conexão metálica
27 Parafusos
28 Base de concreto armado

5.3 - Sistema Construtivo

5.3.1 - Materiais

Como destacado anteriormente, a utilização da madeira como material construtivo apresenta ótimas características, como conferir maior velocidade de montagem, proporcionar um canteiro mais limpo, diminuir os erros de execução devido à possibilidade de pré-fabricação, criar estruturas mais leves e especialmente, ser menos impactante do ponto de vista ambiental quando comparada a outros materiais, como no caso do concreto e do aço. No entanto, conforme apresentado ao longo do trabalho, é importante olharmos para os materiais observando suas diferenças e potencialidades, uma vez que a performance de cada um varia conforme a situação a ser empregado.

No exercício projetual, por exemplo, foi utilizado um sistema híbrido, equilibrando a utilização do concreto, do aço e aproveitando das vantagens da madeira para fabricar a maior parte dos elementos construtivos do edifício. A seguir, apresento algumas das soluções empregadas e como, por meio delas, foi possível se atingir as diretrizes estruturais, de conforto e segurança contra incêndios, apresentadas ao longo do trabalho.

O concreto armado, devido suas ótimas características estruturais, tanto à esforços de tração quanto de compressão e principalmente, devido sua durabilidade em contato constante com a umidade, foi escolhido como material para a construção das fundações, muros de arrimo, pilares e vigas do embasamento do edifício. Além disso, como forma de conferir estabilidade estrutural ao edifício, o concreto armado foi utilizado para a estruturação do núcleo rígido do prédio. É possível encontrarmos exemplos de edifícios em altura que contam com núcleo rígidos estruturados por meio de uma treliça metálica ou por meio de placas de CLT. No Brasil, devido à limitações normativas, é recomendada a utilização de material não combustível para a construção das escadas enclausuradas destinadas à fuga em caso de incêndio.

Optou-se também por utilizar o concreto armado combinado com placas de CLT para a criação de lajes compostas, no sistema "wood deck". A capa de concreto auxilia na redução das vibrações do CLT, uma vez que o som se propaga de forma intensa na madeira. Nesse sistema, de forma predominante, a madeira trabalha à tração, o concreto à compressão e o aço nos esforços de cisalhamento e evitando fissuras e trincas no concreto.

5.3.2 - Conexões

O aço, para além de servir como armação do concreto armado, foi utilizado nas conexões entre pilares, entre pilares e vigas e entre vigas e o núcleo rígido. No projeto, para a conexão entre pilares, foi previsto um conector metálico baseado em seções cilíndricas e ocas. Onde o menor cilindro, localizado no pilar superior, se encaixa no maior cilindro, localizado no pilar inferior. Esse conector, foi escolhido principalmente pelo fato de possibilitar a elevação da peça de madeira, protegendo-a da capa de concreto que cobre as lajes. Para as conexões entre pilares e vigas e vigas e núcleo rígido foram selecionados os conectores embutidos RICON S da Knapp. Tendo em vista que em caso de incêndio as peças mais vulneráveis da estrutura são os conectores, a possibilidade de se embutir os elementos metálicos amplifica a segurança contra incêndios da edificação.

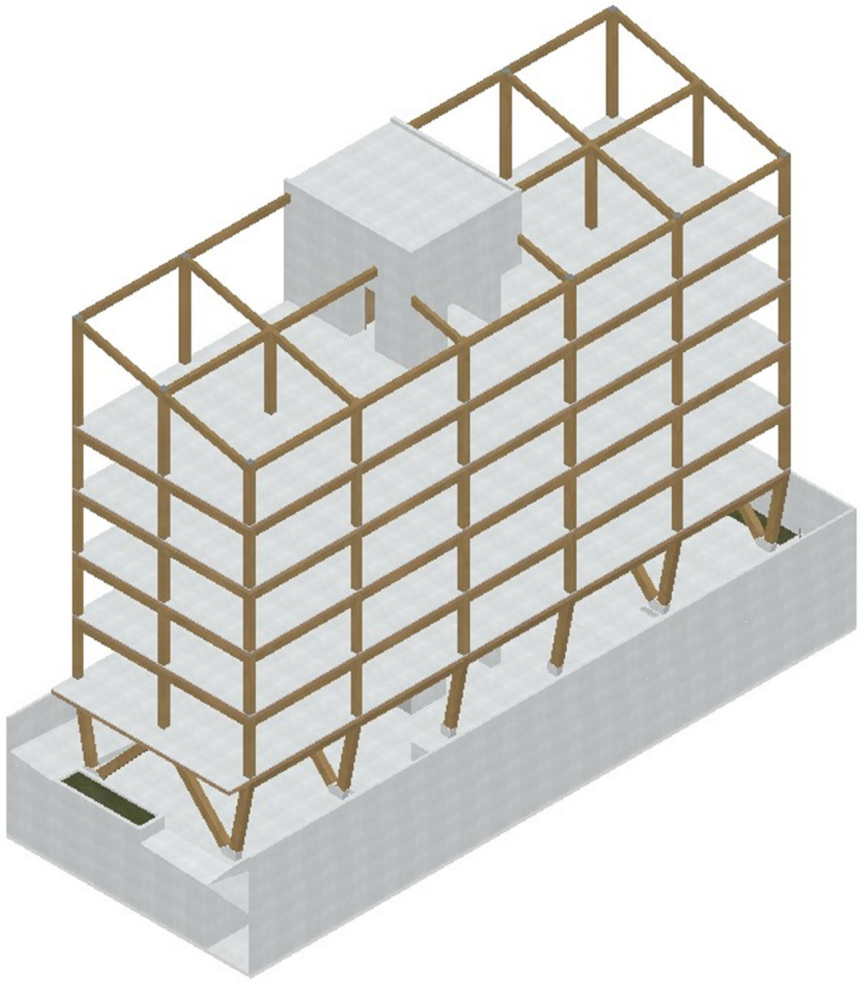


Figura 118: Diagrama estrutural
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

O aço também foi utilizado em parafusos e pregos responsáveis pela fixação dos conectores e promover a união de peças de madeira engenheirada.

5.3.3 - Pilares, vigas e lajes

Os pilares do projeto são de MLC com dimensões preliminares de 360 x 360mm, já considerando uma camada de carbonização de 45 mm em todos os lados. Tais dimensões foram estipuladas a partir das tabelas fornecidas pelos fornecedores e de obras análogas. A camada de carbonização foi calculada com base nos valores apresentados no subcapítulo 4.6.1 que aborda as questões referentes à segurança contra incêndio.

Da mesma forma, as vigas também são de MLC com dimensões preliminares máximas de 180mm de largura e 400 mm de altura (equivalente à dimensão do vão divido por 17, acrescida da camada de carbonização e ajustada à um valor múltiplo de 4, conforme orientação dos fabricantes).

As lajes dos pavimentos superiores ao térreo, conforme descrito anteriormente, são compostas por um sistema híbrido. São compostas por placas de CLT de 5 camadas (200mm), protegidas com uma membrana barreira de vapor impermeabilizante, cobertas com uma capa de concreto armado de 60mm e revestidas com piso cerâmico ou vinílico de acordo com o ambiente, como pode ser observado nos diagramas estruturais (figura 117) e nos detalhamentos presentes na figura 122. Vale destacar que as lajes de CLT são mais leves que as lajes convencionais de concreto

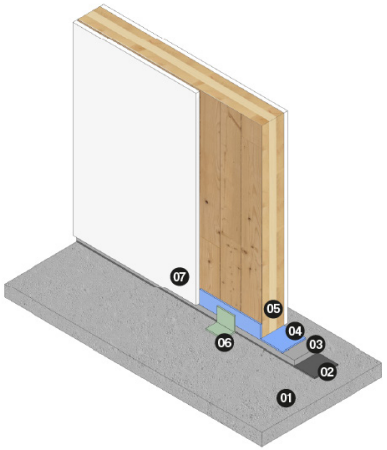
armado e “steel deck”, implicando em um menor peso próprio da estrutura e consequentemente em fundações mais baratas.

5.3.4 - Paredes internas

As paredes internas possuem configurações distintas conforme o local de aplicação. As paredes hidráulicas, presentes nos banheiros e cozinhas, são compostas por placas de 3 camadas de CLT (90mm), perfis de alumínio por onde passam as tubulações e são fixadas as chapas de gesso acartonado resistentes à umidade e revestimento cerâmico, conforme o diagrama anterior (figura 117). Já as paredes comuns, onde não existe a necessidade de passagem das tubulações hidráulicas, são compostas por placas de 3 camadas de CLT (90mm) revestida com uma camada de gesso acartonado (15mm), como forma de se ampliar a segurança contra incêndios e aumentar o conforto acústico dos ambientes.

As instalações são distribuídas por meio de “shafts” verticais localizados próximos às áreas molhadas. Nas cozinhas e nos banheiros também contam com forros de gesso rebaixados que possibilitam a passagem das instalações. Nas demais áreas, as instalações elétricas são embutidas nas paredes e na laje do pavimento superior. Nesses casos é possível se trabalhar com furos e rasgos feitos em fábrica nas lamelas superficiais sem comprometer à estrutura, uma vez que no caso do CLT de 5 camadas (200mm) as 3 camadas internas já são suficientes do ponto de vista estrutural.

Figura 119: Detalhe parede de CLT do térreo
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022



01 Laje de concreto armado
02 Manta impermeabilizante TPO
03 Camada de regularização
04 Membrana barreira de vapor
05 Painel de CLT - 90mm
06 Cantoneira angular metálica
07 Gesso acartonado - 15mm

Figura 120: Corte A
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Figura 121: Fachada leste do edifício
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

5.3.5 - Fachadas

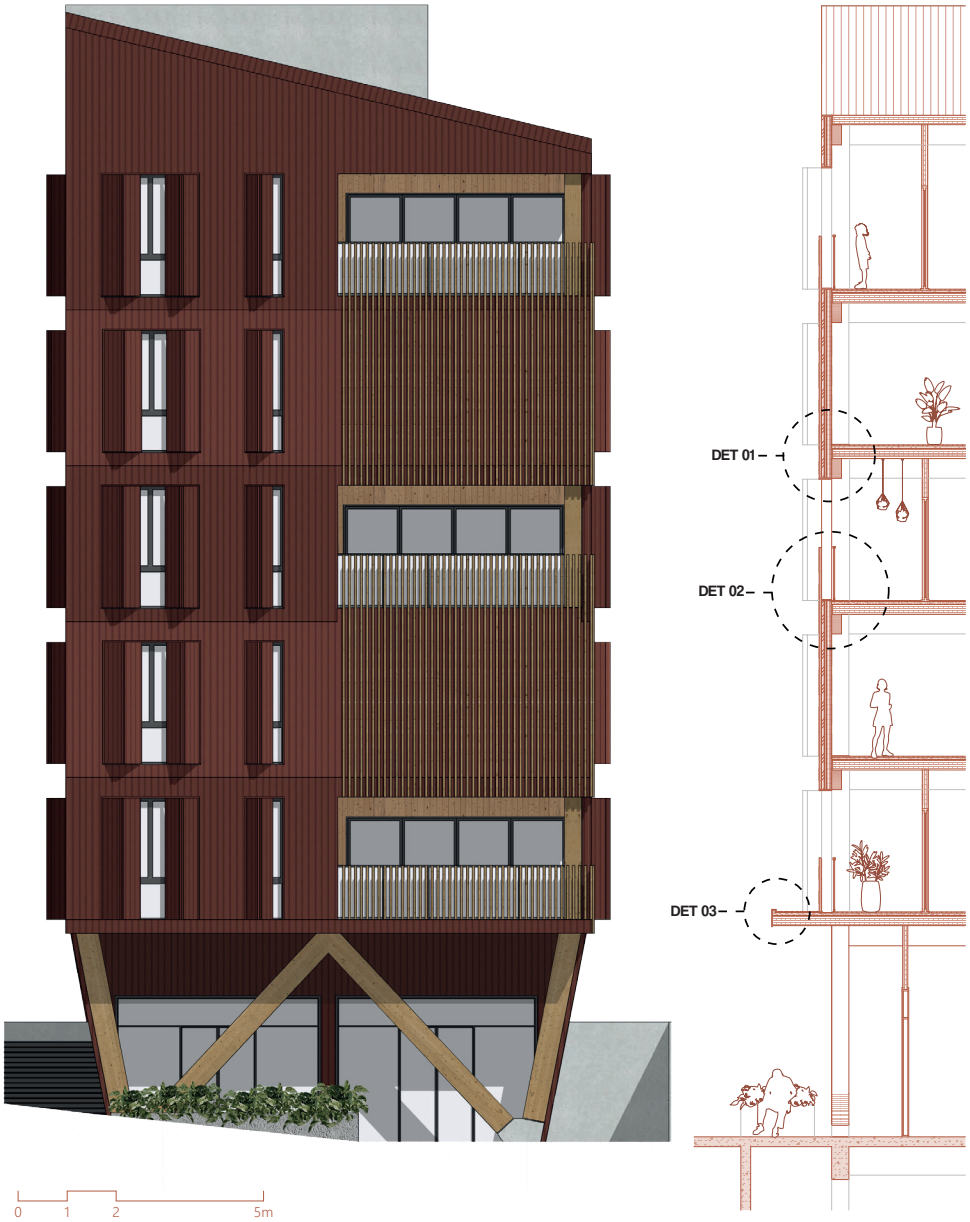
As paredes externas, responsáveis por garantir o isolamento termoacustico das unidades têm a função de manter a estanqueidade do edifício, protegendo as peças estruturais das intempéries. Conforme destacado nos detalhamentos a seguir, as paredes externas são elementos pré-fabricados de múltiplas camadas, cuja composição do lado interno para o externo se baseia em: placa de gesso acartonado, placa de CLT de 3 camadas (90mm), lã de vidro, montante de alumínio, membrana barreira de vapor, suporte de alumínio e painéis de fachada ventilada.

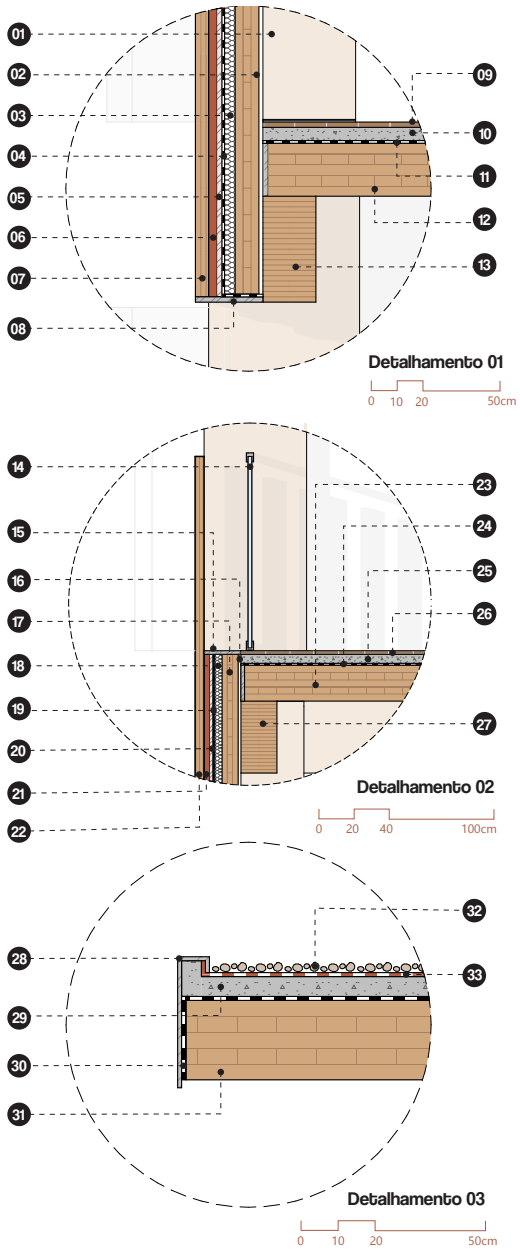
Para o caso dos pilares expostos, como os pilares em V e os presentes nas varandas dos pavimentos 01, 03 e 05, foi utilizado uma resina epóxi transparente sob as peças de modo a garantir a proteção do material exposto.

Foi proposto para a fachada leste, oeste e sul elementos de pinus autoclavado protegido com stain que possuem função estética. Além disso, foram propostos brises móveis do mesmo material para controle solar na fachada norte.

O edifício possui dois tipos de cobertura. O núcleo rígido é protegido com uma laje de concreto armado impermeabilizado com manta asfáltica e no restante da edificação, a cobertura possui composição semelhante à das paredes. No entanto, ao invés de um sistema de fachada ventilada, temos telhas metálicas pintadas na mesma cor do revestimento do edifício.

Figura 122: Detalhamento fachada
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022





Placa de gesso 15mm	01
Placa de CLT 90mm	02
Lã de vidro e montante metálico 48mm	03
Membrana de vapor	04
Suporte metálico fachada	05
Painel fachada ventilada	06
Ripado de pinus autoclavado com stain 50mm	07
Acabamento de chapa metálica 20mm	08
Piso vinílico	09
Capa de concreto armado 60mm	10
Membrana barreira de vapor	11
Laje de CLT 200mm	12
Viga de MLC 200 x 350mm	13
Guarda corpo de vidro temperado e alumínio	14
Acabamento de chapa metálica 20mm	15
Placa de gesso acartonado 15mm	16
Parede de CLT 90mm	17
Lã de vidro e montante metálico 48mm	18
Membrana de vapor	19
Suporte metálico fachada	20
Painel fachada ventilada	21
Ripado de pinus autoclavado com stain 50mm	22
Laje de CLT 200mm	23
Membrana barreira de vapor	24
Capa de concreto armado 60mm	25
Piso vinílico	26
Viga de MLC 200 x 350mm	27
Pingadeira metálica	28
Capa de concreto armado 60mm	29
Membrana barreira de vapor	30
Laje de CLT 200mm com stain	31
Cobertura de argila expandida	32
Manta TPO	33

Figura 123 e 124: Interior de uma unidade da tipologia A
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

5.3.6 - Considerações a respeito do exercício projetual

A madeira é um material leve e que apresenta ótima performance estrutural, conforme apresentado no capítulo 3, que implica na redução do peso próprio da estrutura e consequentemente em uma economia nas fundações. Um ponto interessante é que vigas de MLC tendem a possuir altura inferiores às de concreto armado para um mesmo vão, o que não necessariamente implica em distâncias menores de piso a piso, já que em muitos casos pode ser necessário a utilização de forros ou pisos elevados para a passagem das instalações. Em contraponto à economia das fundações, o fato de se trabalhar com tecnologia importada para a execução das conexões, é um fator que onera a construção do edifício.

O processo de pré-fabricação e precisão conferida às peças de madeira engenheirada, possibilita maior precisão na estimativa de custo da obra, uma vez que é possível se contabilizar de forma precisa, especialmente com ajuda de softwares, o material utilizado para a execução da obra. Além disso, permitem uma execução mais limpa, com menos escoras durante a montagem, reduz a quantidade de erros e é muito mais rápida se comparada aos modelos tradicionais de construção, como no caso do edifício Brock Commons onde a estrutura de 18 andares de madeira e vedações foi erguida em menos de 70 dias, cerca de 4 meses mais rápido que uma estrutura em concreto armado, como aponta o Canadian Wood Council (2018).

A configuração estrutural não limitou-se à utilização da madeira. Como forma de otimizar e aproveitar o melhor de cada material, foi proposta uma estrutura híbrida, balanceando o uso do concreto, do aço e explorando a madeira na maior parte da construção. Tal decisão exigiu cuidados específicos, abordados ao longo do capítulo, de modo a garantir a segurança, estanqueidade e conforto da edificação.

Um ponto notável no resultado final do edifício, principalmente nos espaços internos, foi a abundância de madeira nos ambientes, presente nos pilares, vigas, lajes e paredes, o que, amplia a utilização de materiais renováveis além de, ao analisarmos do ponto de vista biofílico, tornam os espaços mais acolhedores se comparados à outros que não possuem a presença de elementos naturais em sua composição.

A construção de edifícios de múltiplos pavimentos utilizando do sistema construtivo de madeira, apesar de ainda não estar consolidada no Brasil, pode se tornar, com o passar do tempo, mais atrativa para o setor da construção civil, uma vez que novas empresas fornecedoras, universidades e o mercado imobiliário se atentam para os benefícios da tecnologia. De maneira geral, como toda tecnologia emergente, é necessário um processo de estudo, capacitação e adaptação dos profissionais do setor. Um edifício desse tipo, requer um projeto mais integrado, com trocas constantes entre arquitetos, engenheiros, fornecedores e executores, já que grande parte do sucesso da obra está na compatibilização e pré-fabricação das peças a serem montadas no canteiro.

Figura 125: Fachada Norte
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou a compreensão, de forma abrangente, do contexto climático global, das tendências de crescimento urbano e dos impactos causados pelas cidades e o setor da construção civil no planeta.

A madeira foi compreendida como uma alternativa às tecnologias hegemônicas para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos tendo em vista suas características mecânicas, a possibilidade de pré-fabricação e seu potencial de reduzir os impactos ambientais causadas pelo setor da construção civil.

A tecnologia de madeira engenheirada, ao longo dos últimos anos, especialmente na Europa, Estados Unidos e Canadá, vem se desenvolvendo e se destacando no cenário arquitetônico, rompendo com preconceitos relacionados ao material e ampliando sua difusão para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos. No Brasil, apesar da pouca difusão da tecnologia, existem indícios de evolução, como por exemplo os recentes investimentos em empresas do setor e o surgimento dos primeiros projetos e construções de edifícios de múltiplos pavimentos em madeira na cidade de São Paulo.

Como forma de compreender formas de se construir com o material e levantar pontos relevantes para a execução de edifícios eficientes, seguros e confortáveis, foram estudadas através da bibliografia e de estudo de obras executadas, questões construtivas referentes a alguns tipos de madeira engenheirada empregadas na construção civil, sistemas construtivos, soluções técnicas relacionadas à estrutura, ao desempenho térmico, acústico e à segurança contra incêndios necessária para esse tipo de edifício.

Por meio da análise dos dados levantados e das informações apresentadas neste trabalho, foi desenvolvido um anteprojeto arquitetônico de um edifício de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira no município de Conselheiro Lafaiete - MG. Tal exercício possibilitou a aplicação dos conceitos e tecnologias compilados no presente Trabalho Final de Graduação, ao mesmo tempo que, de forma preliminar, permitiu a elucidação de potencialidades e dificuldades enfrentadas durante desenvolvimento de um projeto em madeira.

REFERÊNCIAS

AFLALO, Marcelo. *Estruturas em Madeira: forma e método*. São Carlos, 2020. Tese

AFLALO, Marcelo. *Madeira como estrutura: a história da Ita*. São Paulo: Paralaxe, 2005

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. *O desafio da sustentabilidade na construção civil*. [S.l: s.n.], 2011.

ALTER, Lloyd. *Cities need Goldilocks housing density - not too high or low, but just right*. The Guardian, 2014. Disponível em:https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2014/apr/16/cities-need-goldilocks-housing-density-not-too-high-low-just-right . Acesso: 27/04/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações*. Rio de Janeiro. 2001.

BARBOSA, Ariela. Urbanismo Bioclimático: *Efeitos do desenho urbano na sensação térmica*. São Carlos, Universidade de São Paulo, 2018.

CALIL, Carlito.; LAHR, Francisco Antonio R.; DIAS, Antonio A. *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira*. Editora Manole, 2003.

CANADIAN WOOD COUNCIL, *Brock Commons Tallwood House* . Disponível em: https://cwc.ca/wp-content/uploads/2018/07/CS-BrockCommon.Study_.23.lr_.pdf. Acesso: 17/10/2022.

CONSELHEIRO LAFAIETE. Fotografia aérea da cidade. Conselheiro Lafaiete, 2019. Disponível em: http://conselheirolafaiete.mg.gov.br/v2/lafaiete-lidera-geracao-de-emprego-na-regiao/. Acesso: 13/10/2022.

CONSELHEIRO LAFAIETE. Lei Complementar N º 31. *Dispõe sobre o uso e a ocupação do solo urbano no município de Conselheiro Lafaeite, e dá outras providências*. Abril de 2011.

CONSELHEIRO LAFAIETE. Lei Complementar N º 077. Altera a redação da Lei Complementar Nº 031, de 04 de Abril de 2011, que "Dispõe sobre o uso e ocupação do solo urbano no município de Conselheiro Lafaiete, e dá outras providências". Maio de 2015.

DANGEL, Ulrich. *Turning Point in Timber Construction: A New Economy*. Basileia: Birkhäuser, 2017.

EPA, United States Environmental Protection Agency. *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. 2020. Disponível em: https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#:~:text=The%20primary%20 sources%20 of%20 greenhouse,share%20of%20 greenhouse%20gas%20 emissões. Acesso: 23/04/2022

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Matriz energética e elétrica*. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica . Acesso: 04/05/2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO: *Diagnósticos Municipais: Aspectos Ambientais e físico-territoriais da área urbana. Revisão do Plano Diretor do Município de Conselheiro Lafaiete/MG*. Março de 2022. Disponível em: http://conselheirolafaiete.mg.gov.br/v2/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-preliminar-Estrtura-urbana_PD-Lafaiete-final.pdf. Acesso: 28/05/2022.

GHISLENI, Camilla. *50 Tons de verde: as contradições do "greenwashing" na arquitetura*. 2022. ArchDaily Brasil. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/978660/50-tons-de-verde-as-contradicoes-do-greenwashing-na-arquitetura . Acesso: 09/05/ 2022.

GIORGI, Rodrigo de Souza Nazareth. *Edifícios de múltiplos pavimentos em estrutura de madeira: processos construtivos e diretrizes para projeto*. São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2020.

GREEN, Michael; TAGGART, Jim. *Tall Wood Buildings: Design, Construction and Performance*. Basileia: Birkhäuser, 2017.

GREEN, Michael. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: MGA - Michael Green Architecture, 2012.

GUMUCHDJIAN, Philip; ROGERS, Richard. *Cidades Para Um Pequeno Planeta*. Barcelona: Gustavo Gili, 2011.

HAFNER, Annette; KÖNIG, Holger. Life-cycle Assessment. In: KAUFMANN, Hermann; KRÖTSCH, Stefan; WINTER, Stefan. *Manual of Multistorey Timber Construction*. Munique: Birkhäuser, 2018.

HUß, Wolfgang. Prefabrication. In: KAUFMANN, Hermann; KRÖTSCH, Stefan; WINTER, Stefan. *Manual of Multistorey Timber Construction*.Munique: Birkhäuser, 2018.

IPAM, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. *CO_2 Equivalente*. Disponível em: https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/ . Acesso: 04/05/2022.

JÚNIOR, Hélio Olga de Souza, FERNANDES, Daniel Salvatore. *Wooden Structures in Brazil: Present Situation and Perspectives*. World Conference on Timber Engineering, 2014.

KAUFMANN, Hermann; KRÖTSCH, Stefan; WINTER, Stefan. *Manual of Multistorey Timber Construction*. Munique: Birkhäuser, 2018.

KAUFFMAN ZIMMEREI UND TISCHLEREI. Disponível em: https://www.kaufmannzimmerei.at/ . Acesso: 15/05/2022.

KOLB, Josef. *Systems in Timber Engineering*. Munique: Birkhäuser, 2008.

KUCHPIL, Eneida. *Edifício vertical e a cidade: imagens da modernidade sob o olhar do espaço público*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2008.

LIMA, José. *Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2010.

INFANTE, Maisa. *O futuro da construção civil é verde? Com uso de madeira, a Urbem quer tornar o canteiro de obras mais ágil e ecológico*. Projeto Draft. 2022. Disponível em: https://www.projetodraft.com/o-futuro-da-construcao-civil-e-verde-com-uso-de-madeira-a-urbem-quer-tornar-o-canteiro-de-obras-mais-agil-e-ecologico/. Acesso em: 25/05/2022.

MALO, K. A; ABRAHAMSEN, R.B; BJERTNAES, M.A. *Some structural*

design issues of the 14-storey timber framed building "Treet"in Norway. 2016.

MEHAFFY, Michael; ALTERMAN, Rachelle. *White Paper on Tall Buildings Reconsidered: The Growing Evidence of a Looming Urban Crisis*. Technion, Israel: Samuel Neaman Institute for National Policy Research, 2019.

MELO, Paula Rodrigues. *Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos*. Universidade Federal de Uberlândia. 2013.

NETO, Calil. *O primeiro prédio de madeira massiva (Mass Timber) do Brasil*. Rewood, 2022. Disponível em: https://rewood.com.br/artigo/entenda-o-processo-de-acabamento-de-madeira-engenheirada-.Acesso em: 24/05/2022.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de Madeira*, 6ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2003.

PINHEIRO, Mariana de. *Reprodução do Capital e Metamorfoses Espaciais: um estudo da verticalização de Ponta Negra, Natal/RN*. Centro de Ciências Humanas Letras e Artes: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

RAMAGE, Michael; BURRIDGE, Henry; Busse-Wicher, Mart;, Fereday, George; Reynolds, Thomas., Shah, Darshil; Wu, Guanglu; et al. *The wood from the trees: The use of timber in construction*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017.

RIBEIRO, Haroldo; RYBSKI, Diego; KROPP, Jürgen. *Effect of changing population or density on urban carbon dioxide emissions*. Institute for Environmental Science and Geography, University of Potsdam. Potsdam, 2019.

SHIGUE, Erich Kazuo. *Difusão da construção em madeira no Brasil: agentes, ações e produtos*. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP: São Carlos, 2018.

SOMOS CIDADE. *Densidade urbana: a amiga improvável do meio-ambiente*. Santa Editora, 2022. Disponível em: https://somoscidade.com.br/2022/04/adensamento-urbano-e-amigo-improvavel-do-meio-ambiente/ . Acesso: 25/04/2022.

SOS MATA ATLÂNTICA. *Mapas SOS Mata Atlântica*. Disponível em: http://mapas.sosma.org.br/ . Acesso: 15/05/2022.

SOUZA, Ana Clara de. *Conselheiro Lafaiete, MG: Cidade Média em Consolidação: um estudo sobre o espaço intraurbano no período de 1970-2018*. Universidade Federal de Viçosa, 2019.

TAKANO, Atsushi, HAFNER, Annette; LINKOSALMI, Lauri; et al. *Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards*. Presente em: European Journal of Wood and Wood Products, 2015.

TANSCHEIT, Paula. *Cidades compactas e o difícil equilíbrio entre densidade e verticalização*. WRI Brasil, 2016. Disponível em: https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/02/cidades-compactas-e-o-dificil-equilibrio-entre-densidade-e-verticalizacao . Acesso: 25/04/2022.

UNITED NATIONS. *IPCC. Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change*. Report of the International Panel on Climate Change 2014.

UNITED NATIONS. *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* . Cambridge University Press. In Press.2022.

UNITED NATIONS.*World urbanization prospects: The 2018 revision*, New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2018.

UNITED NATIONS. *Generating power*. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=According%20to%20UN%20 Habitat%2C%20 cities,cent%20of%20 greenhouse%20gas%20emissions. Acesso: 23/04/2022.

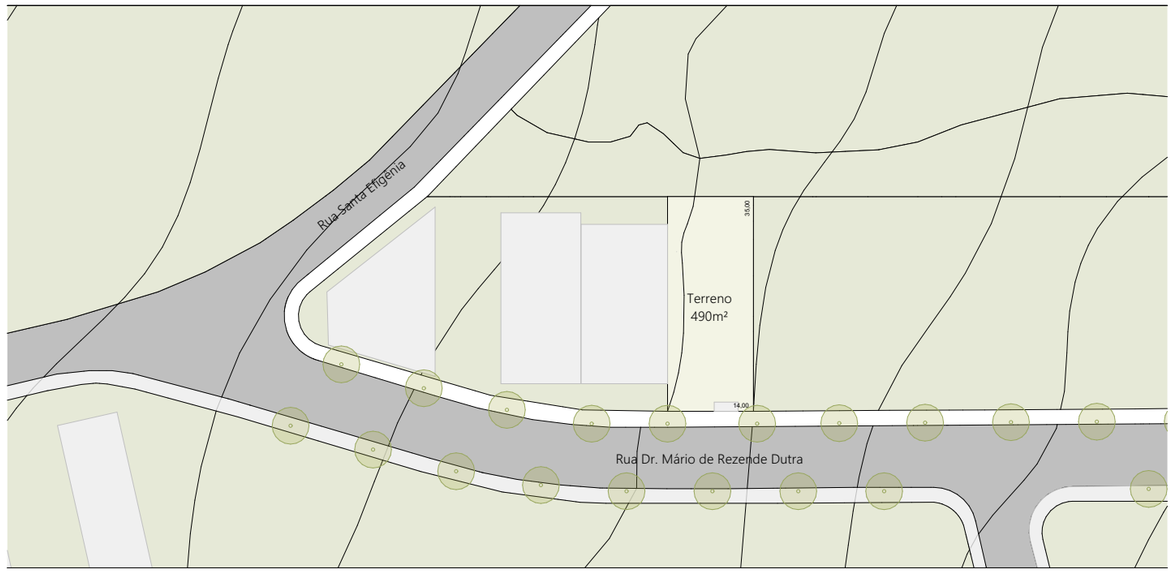
WINTER, Stefan. Protective functions. In: KAUFMANN, Hermann; KRÖTSCH, Stefan; WINTER, Stefan. *Manual of Multistorey Timber Construction*. Munique: Birkhäuser, 2018.

WOOD WORKS. *Mass Timber Design Manual*. Wood Products Council, 2021.

WOOD WORKS. U.S *Mass Timber Construction Manual*. Wood Products Council, 2021.

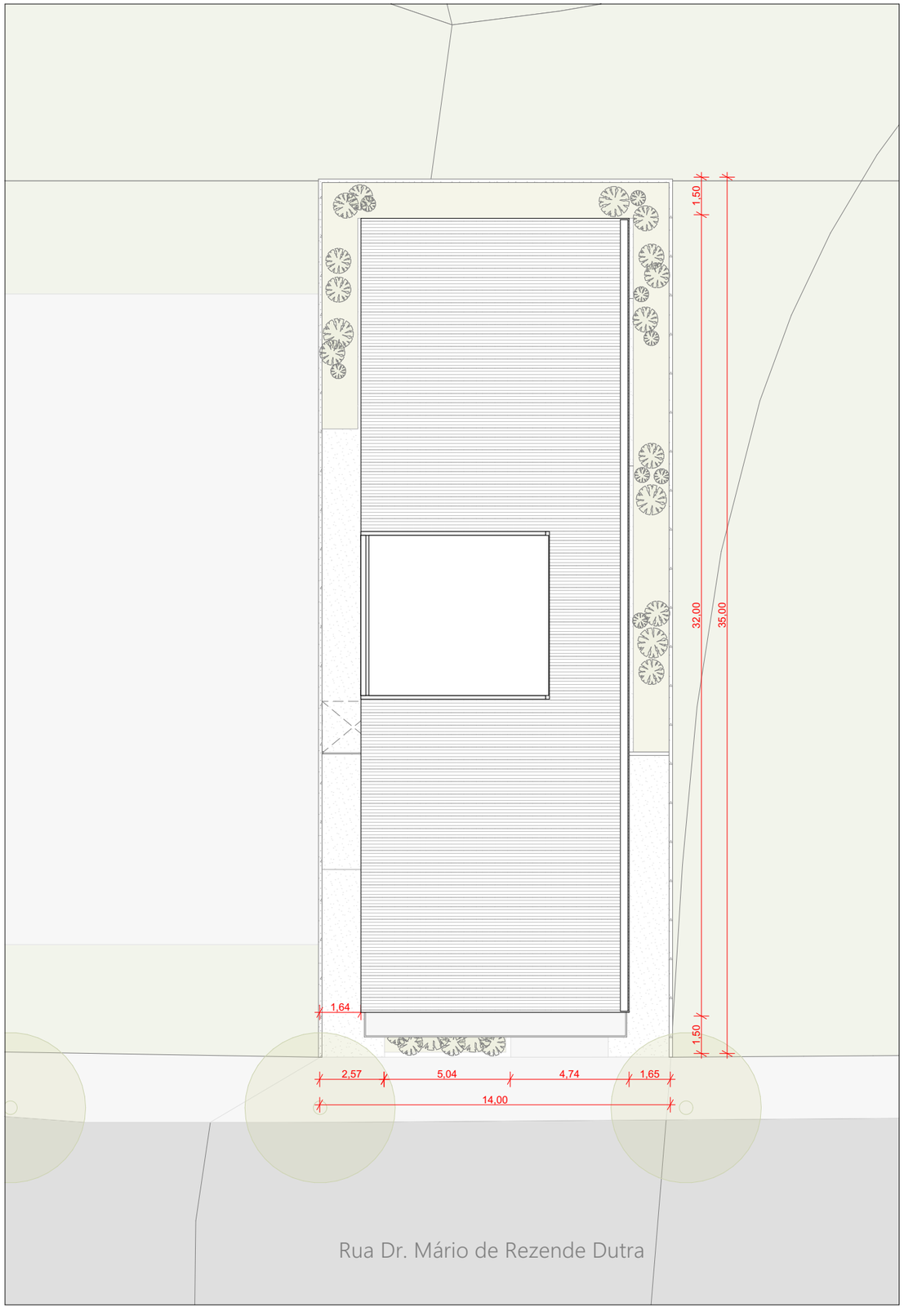
WORLD STEEL ASSOCIATION. *Sustainability indicators*. Disponível em: https://worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/sustainability-indicators/. Acesso em 16/04/2022.

APÊNDICE



PLANTA SITUAÇÃO

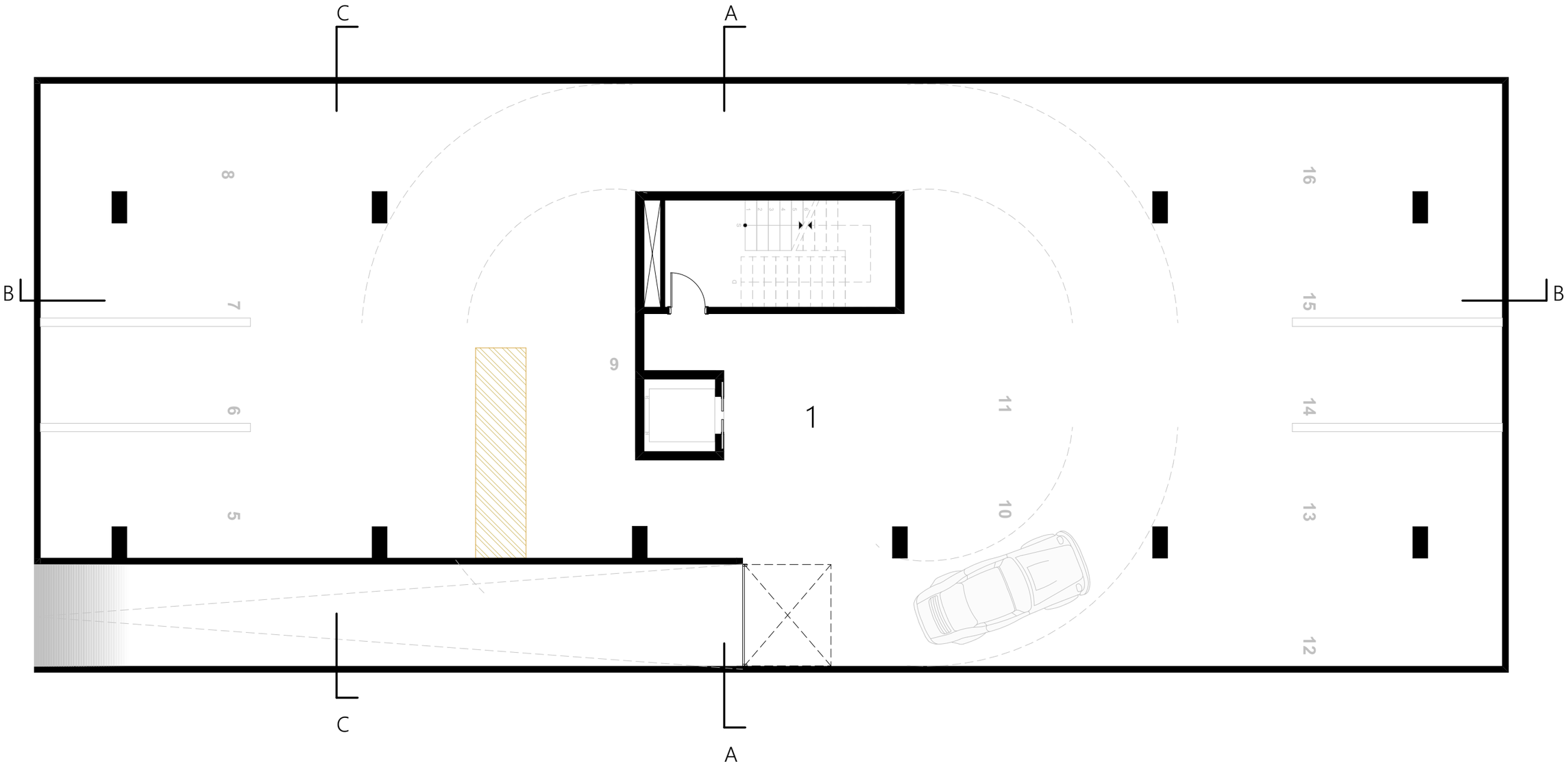
ESC: 1:1000



0 1 2 5

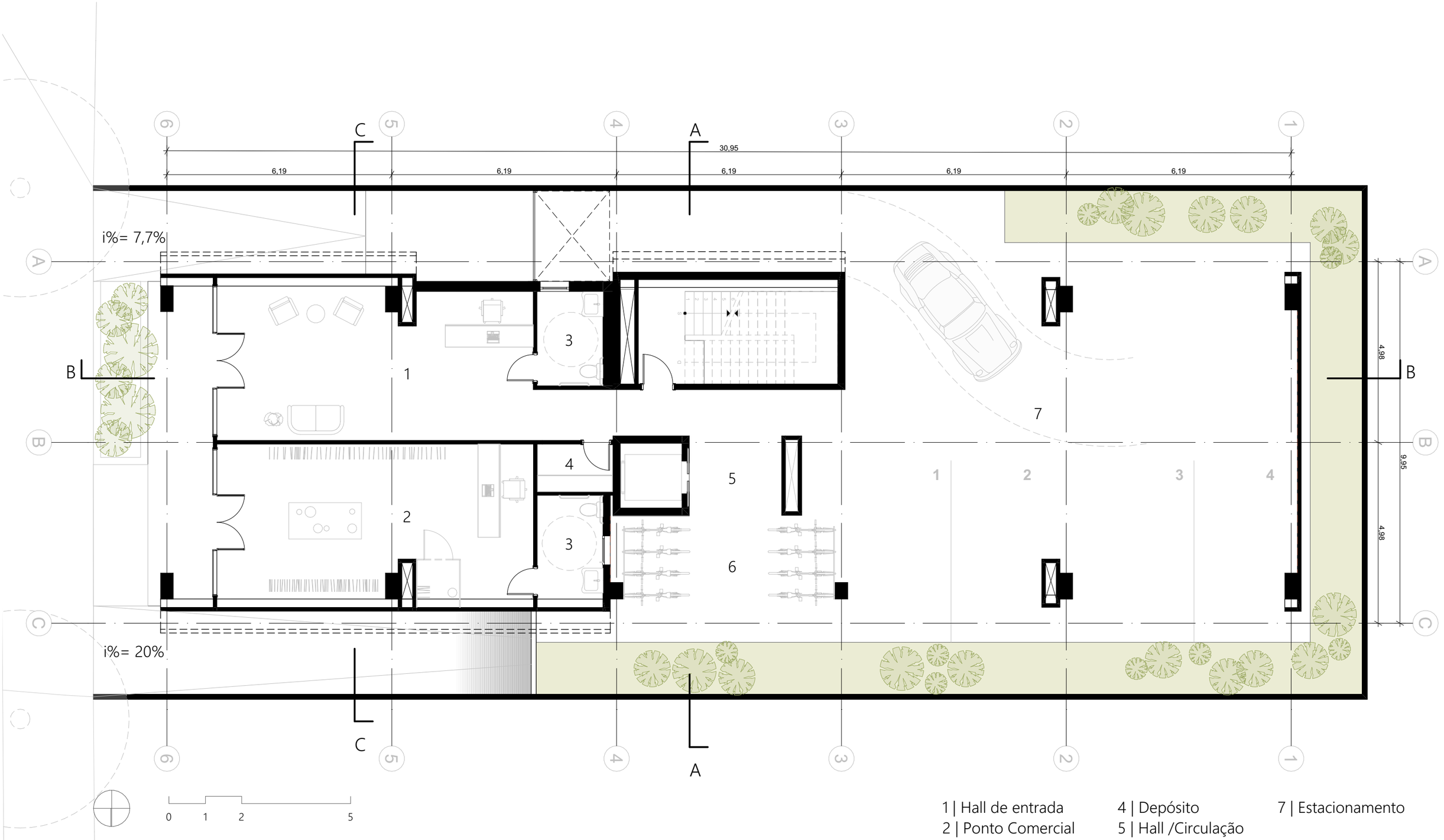
PLANTA IMPLANTAÇÃO

PLANTA SUBSOLO



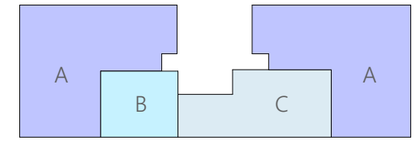
1 | Estacionamento

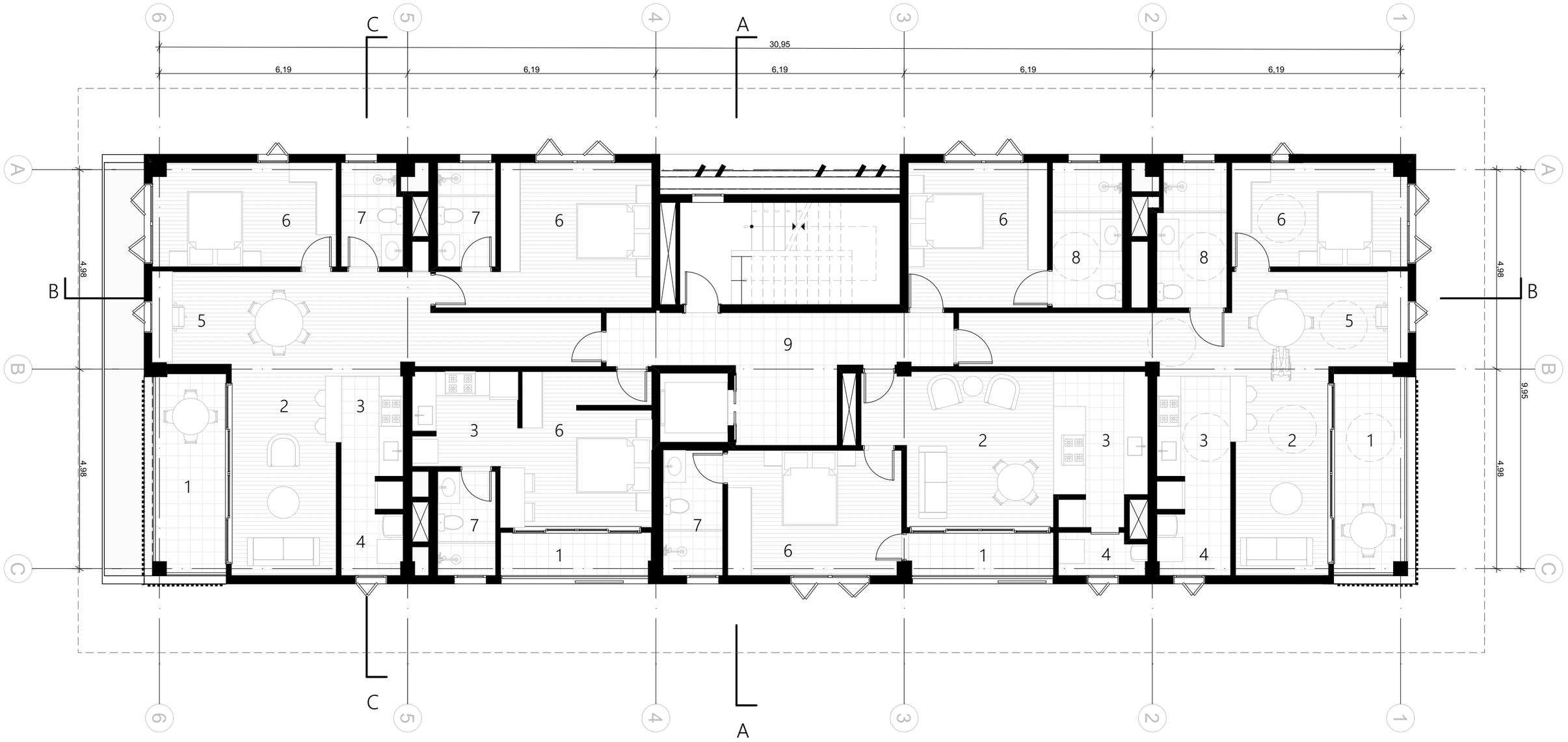
PLANTA TÉRREO



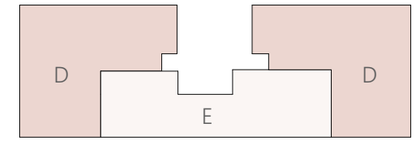
1 | Hall de entrada
2 | Ponto Comercial
3 | Banheiros acessíveis
4 | Depósito
5 | Hall /Circulação
6 | Bicicletário
7 | Estacionamento

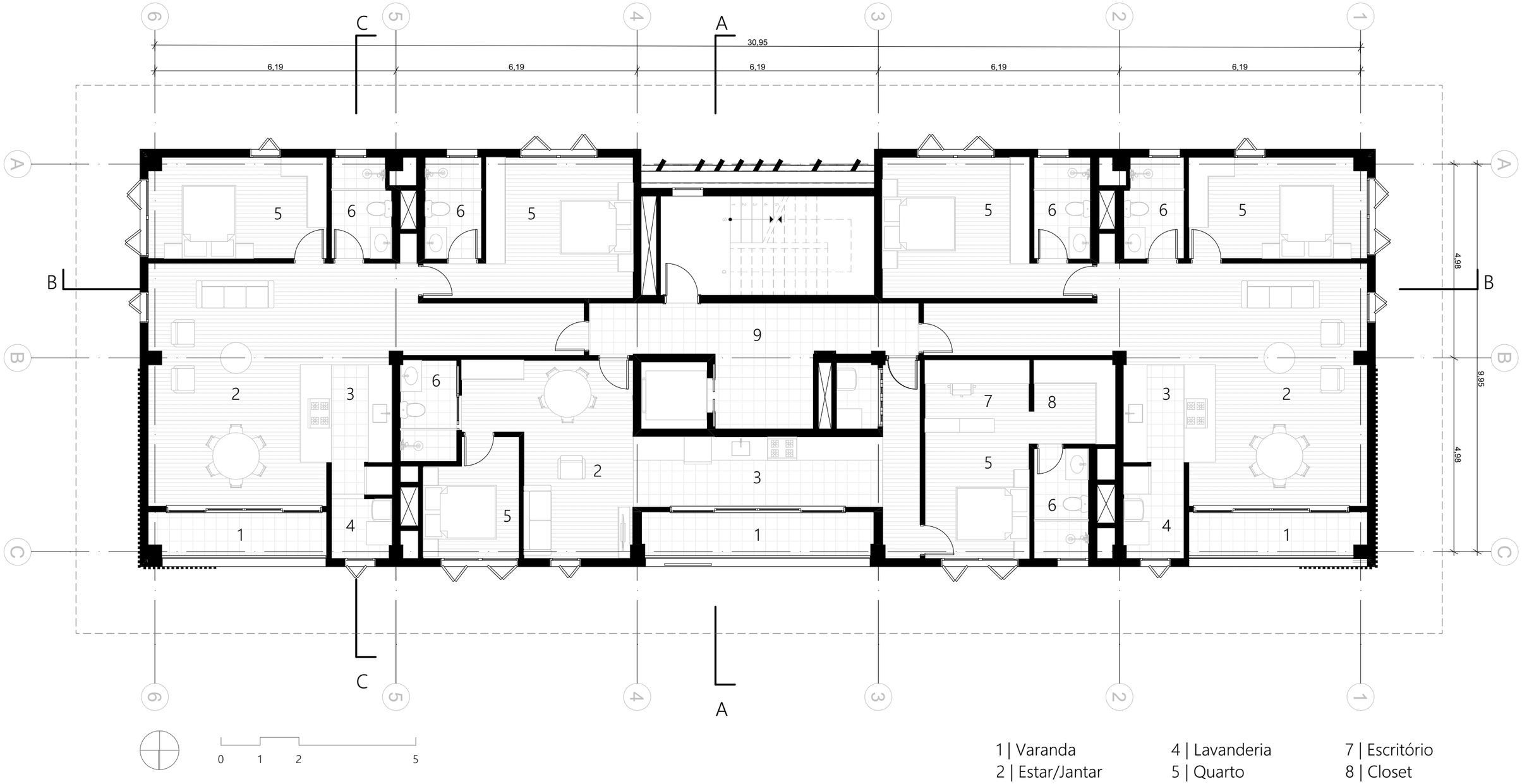
PLANTA PAVIMENTO 1



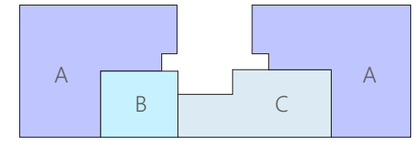


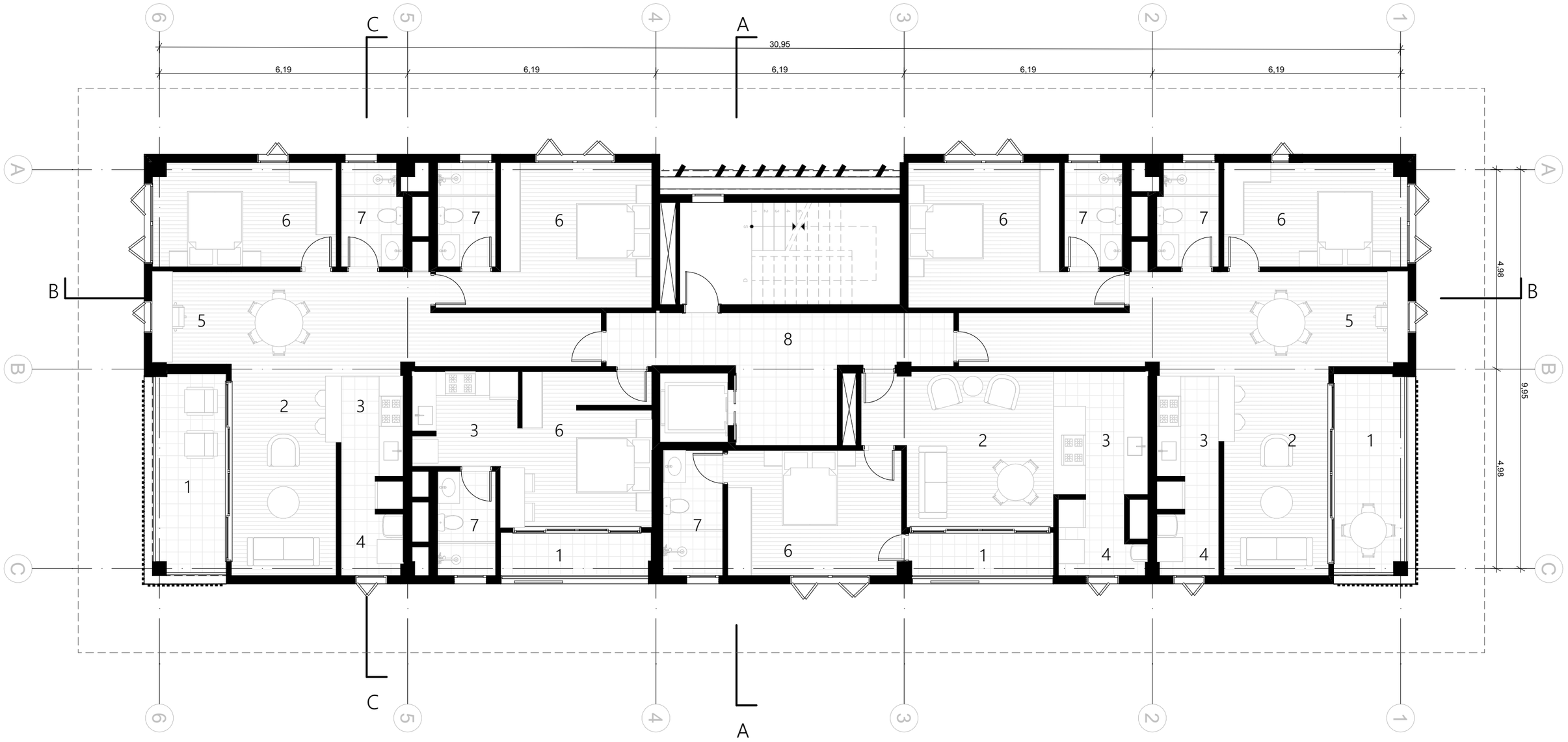
PLANTA PAVIMENTO 2



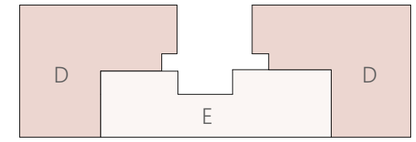


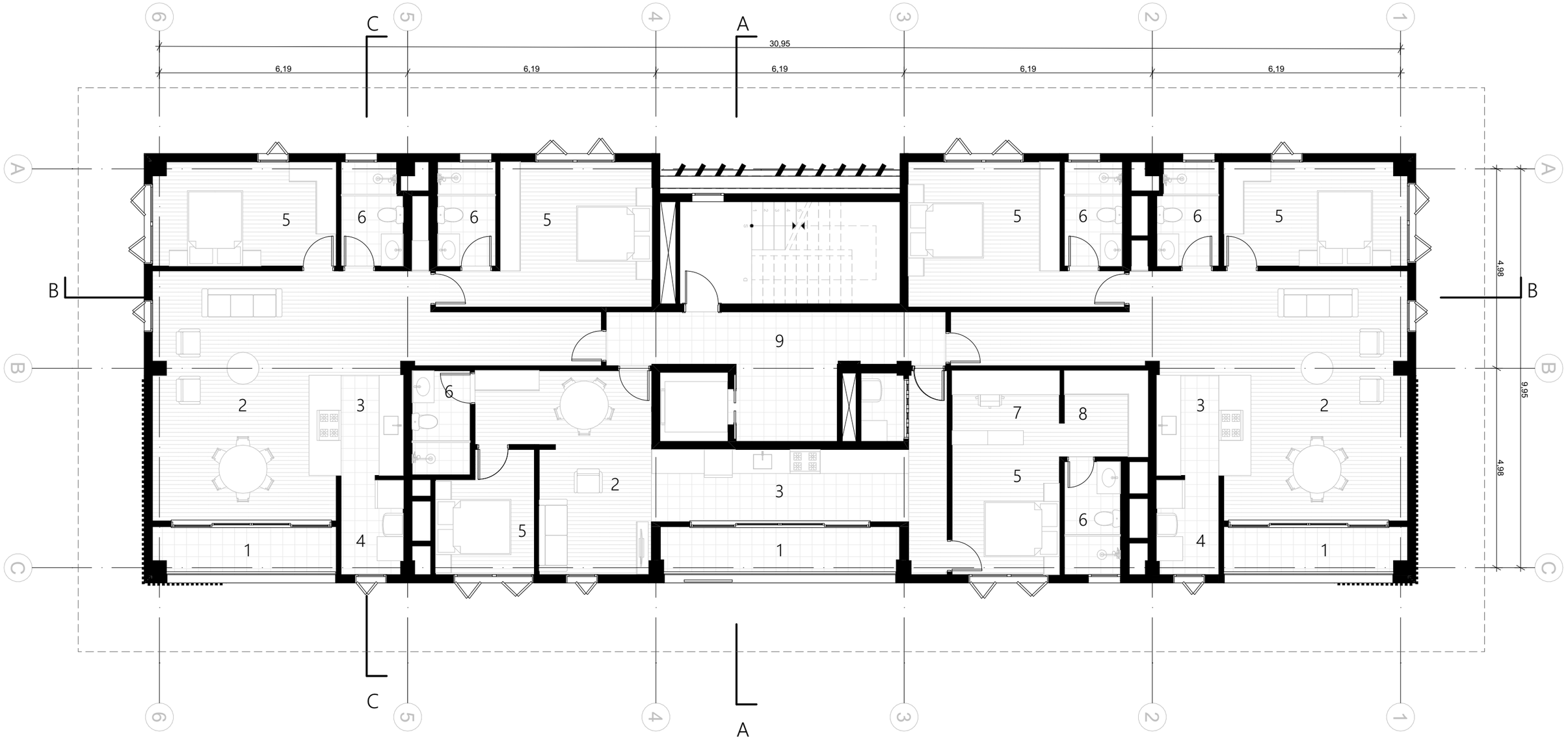
PLANTA PAVIMENTO 3





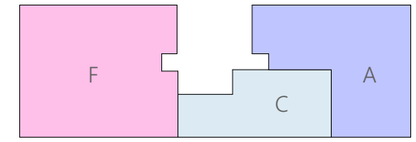
PLANTA PAVIMENTO 4

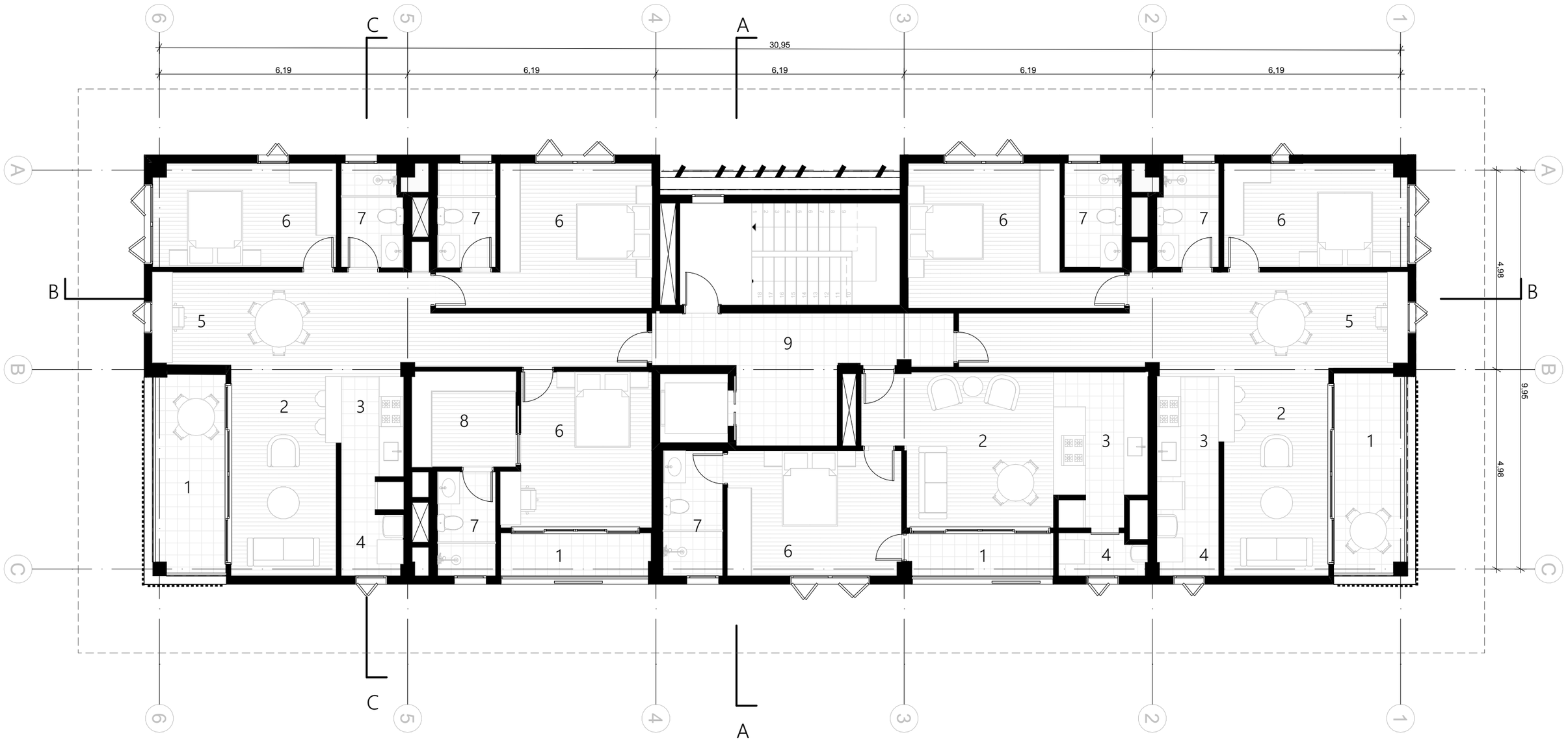




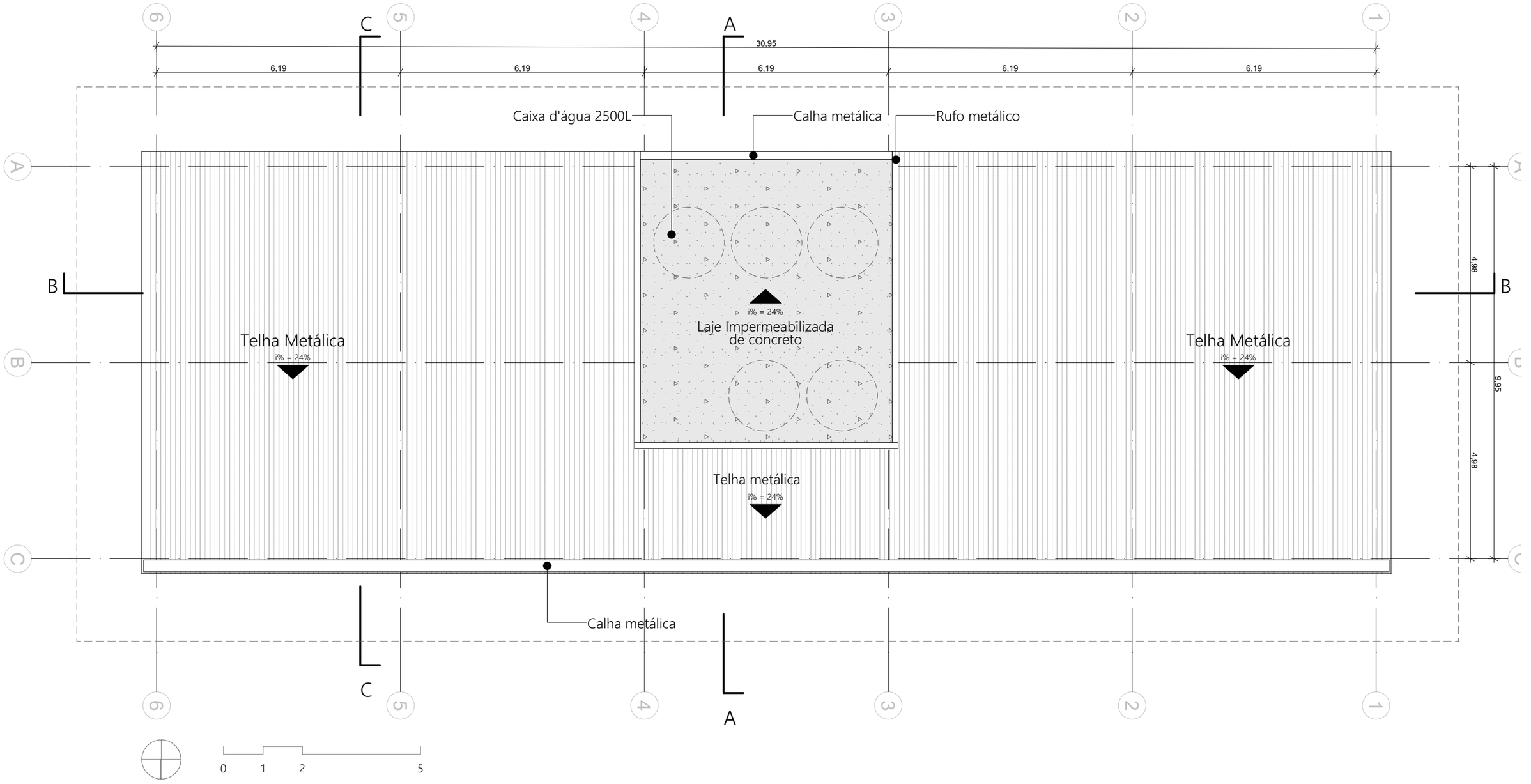
1 | Varanda
2 | Estar/Jantar
3 | Cozinha
4 | Lavanderia
5 | Quarto
6 | Banheiro
7 | Escritório
8 | Closet
9 | Circulação

PLANTA PAVIMENTO 5

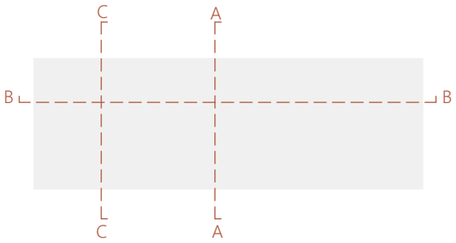


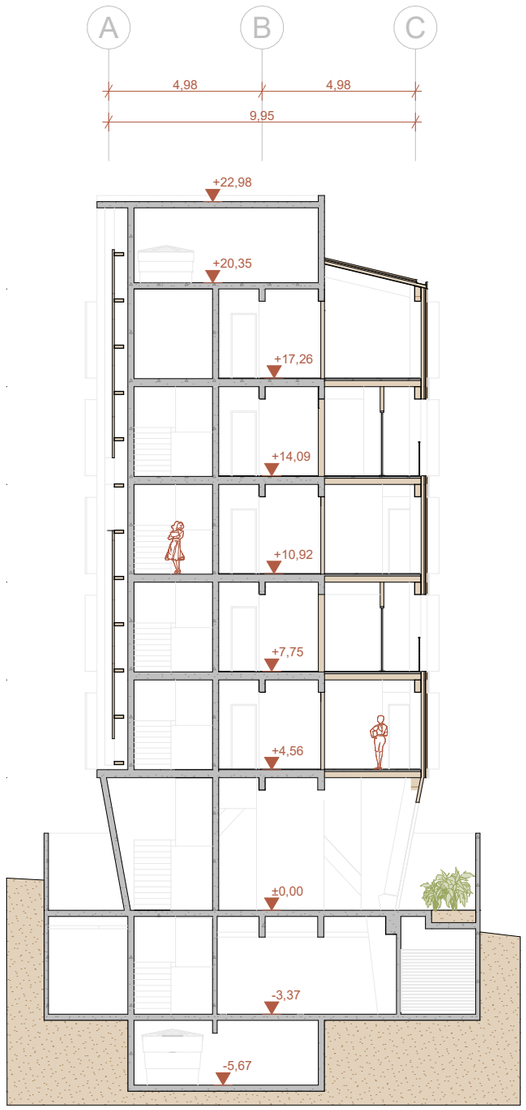


PLANTA COBERTURA



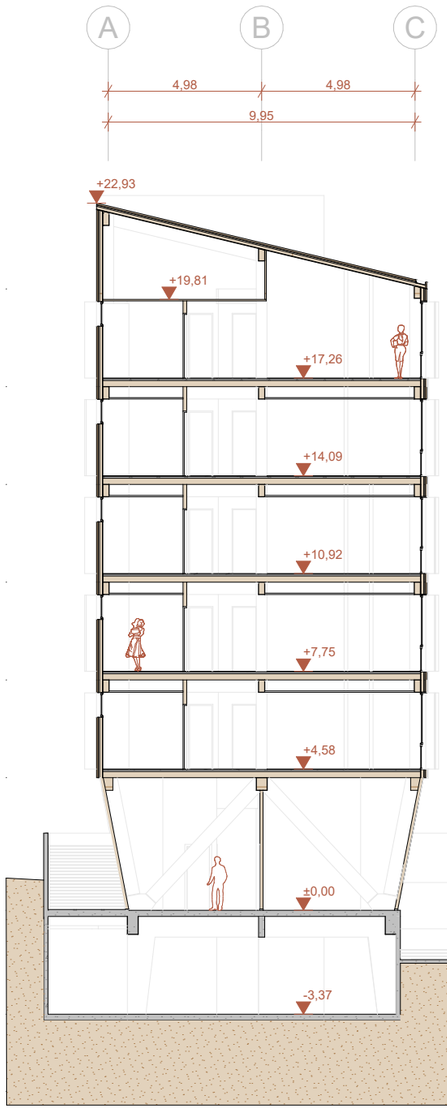
CORTES





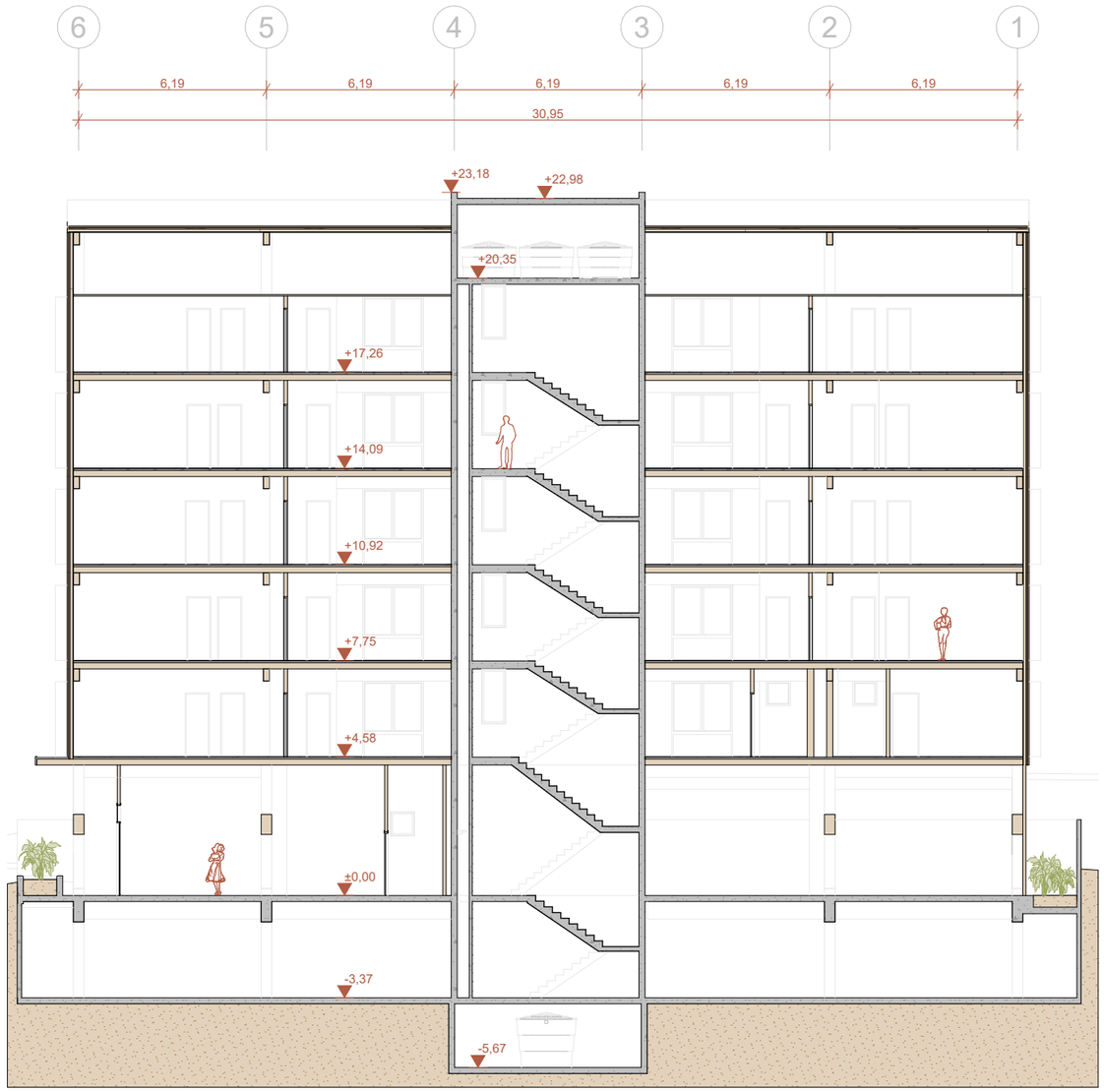
CORTE A

0 1 2 5



CORTE C

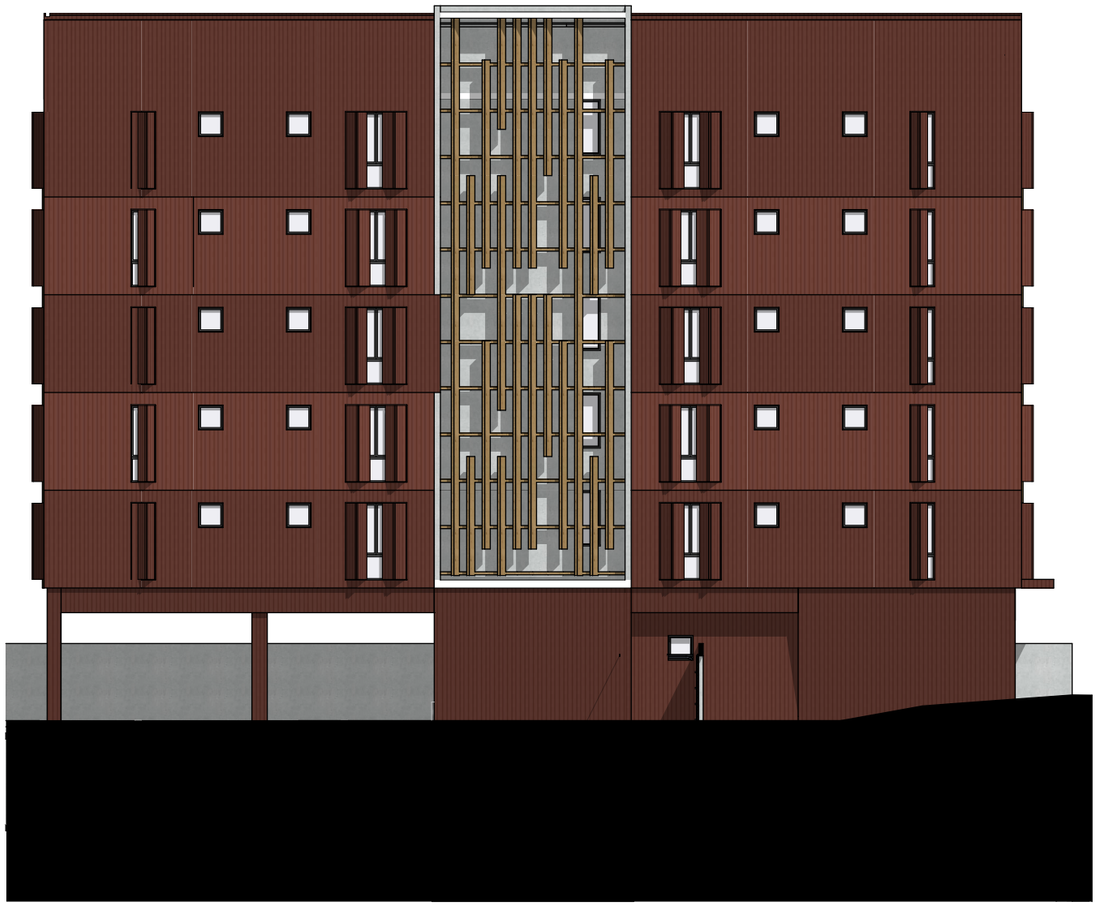
0 1 2 5



CORTE B

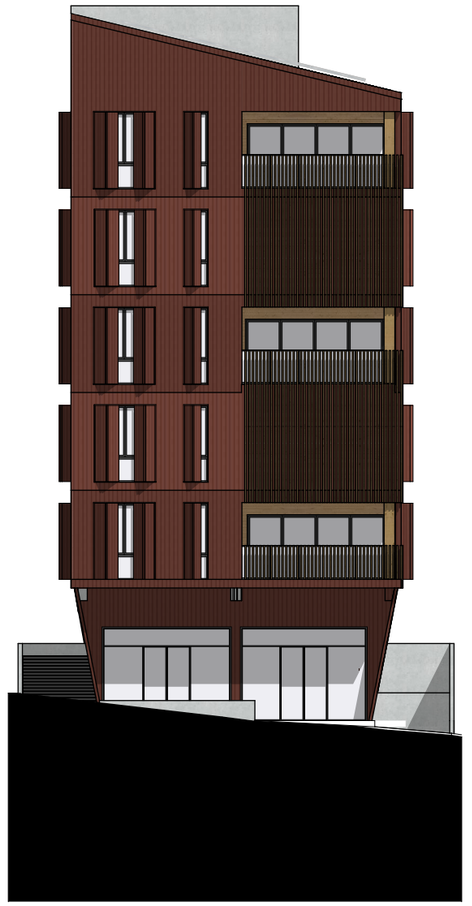
0 1 2 5

ELEVAÇÕES



ELEVAÇÃO 01 | FACHADA SUL

0 1 2 5



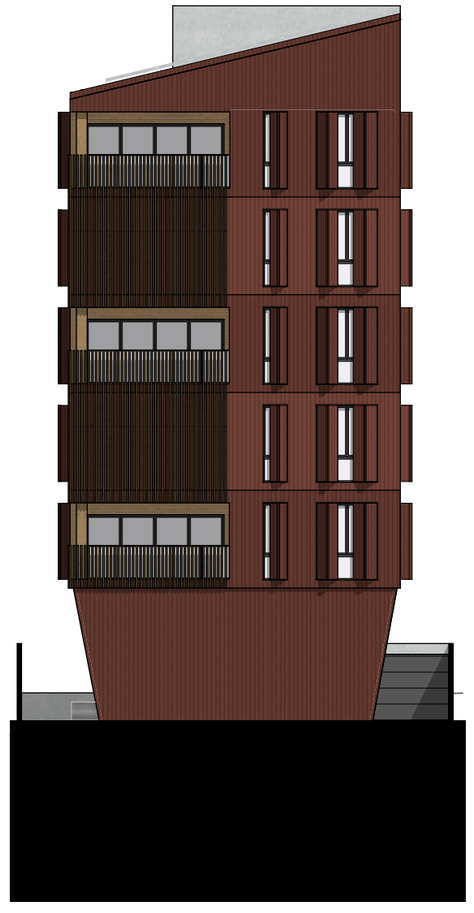
ELEVAÇÃO 02 | FACHADA LESTE

0 1 2 5

ELEVAÇÕES

ELEVAÇÃO 03 | FACHADA NORTE

0 1 2 5

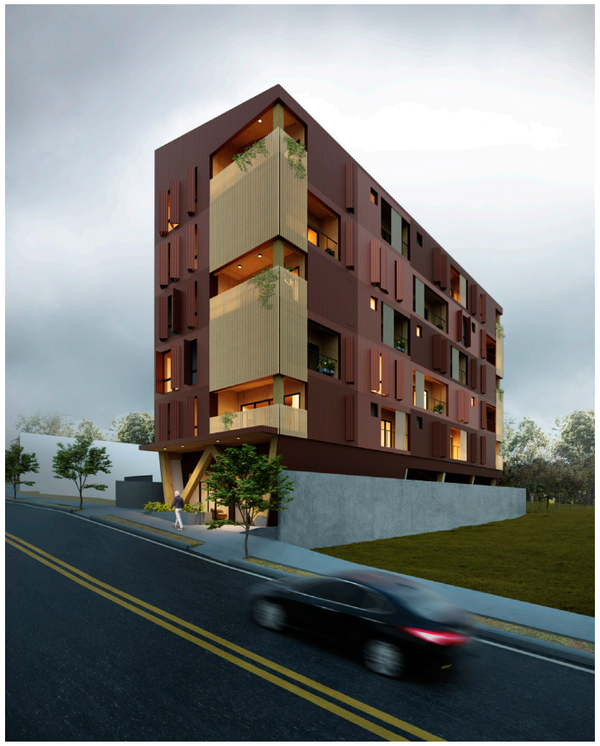


ELEVAÇÃO 04 | FACHADA OESTE

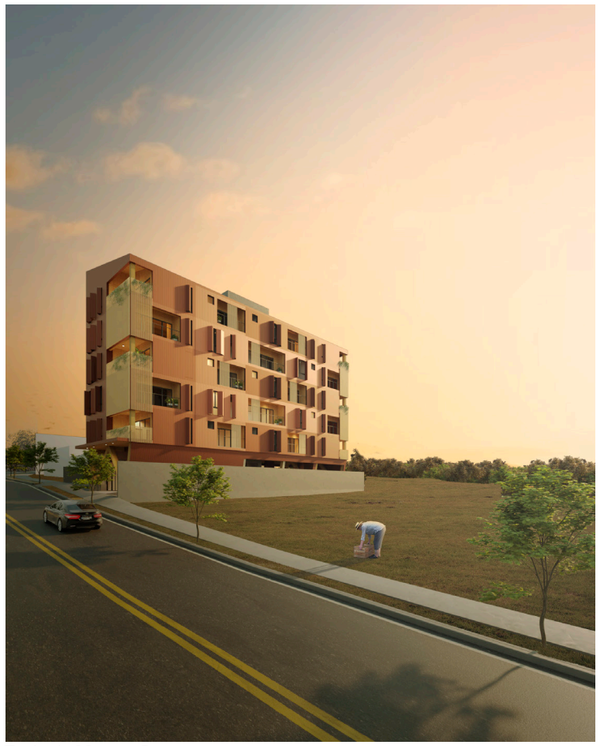
0 1 2 5

PERSPECTIVAS

Fachada Leste e Norte



Fachada Leste



Fachada Norte e Leste

Fachada Sul e Leste

Fachada Leste

Interior ponto comercial

Interior recepção

Interior unidade habitacional A

Interior unidade habitacional A

Interior unidade habitacional A

ANEXOS

ANEXO A: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRFF), em minutos.
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro. 2001.p.7.

Tabela A.1 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S_2 $h_2 > 10$ m	Classe S_1 $h_1 \leq 10$ m	Classe P_1 $h \leq 6$ m	Classe P_2 $6\text{ m} < h \leq 12$ m	Classe P_3 $12\text{ m} < h \leq 23$ m	Classe P_4 $23\text{ m} < h \leq 30$ m	Classe P_5 $h > 30$ m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-6	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

ANEXO B: Classificação das edificações quanto à sua ocupação.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro. 2001.p.8-9

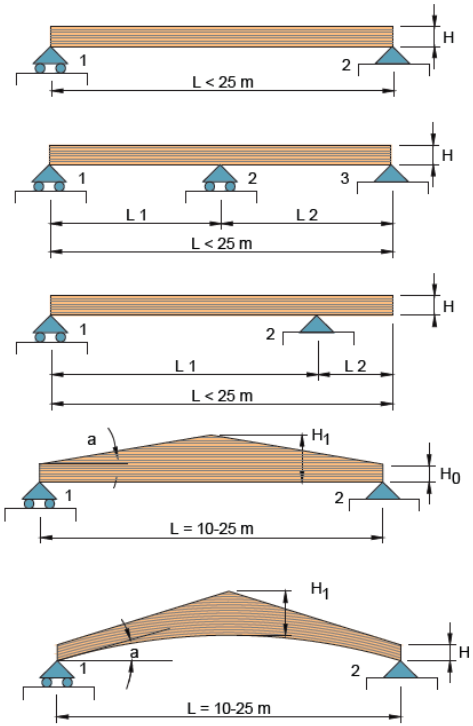
Anexo B (normativo)

Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Tabela B.1 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, bilhares, mercearias, floriculturas, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (shopping center)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educacional e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura religiosa e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais (artísticas, dança musculação e outros) esportes coletivos (bola, futebol e outros, que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de massagem e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternais, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
F	Locais de reunião pública	F-1	Locais onde há objetos de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos e outros
		F-2	Templos e auditórios	Igrejas, sinagogas, templos e auditórios em geral
		F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-4	Estações e terminais de passageiros	Estações rodoferroviárias, aeroportos, estações de transbordo e outros
		F-5	Locais de produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral (cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros

ANEXO C: Pré-dimensionamento de vigas de MLC. Caderno de Detalhes Construtivos. Rewood. 2020.p.39. Disponível em: https://rewood.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Caderno-de-Detalhes-Construtivos-R06-2020.pdf. Acesso: 28/05/2022.



Viga Biapoiada

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
< 5°	**< 25m**	**H ≈ L/17**

Viga Triapoiada

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
< 5°	**< 25m**	**H ≈ L/17**

Viga Biapoiada com Balanço

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
< 5°	**< 25m**	**H ≈ L/17**

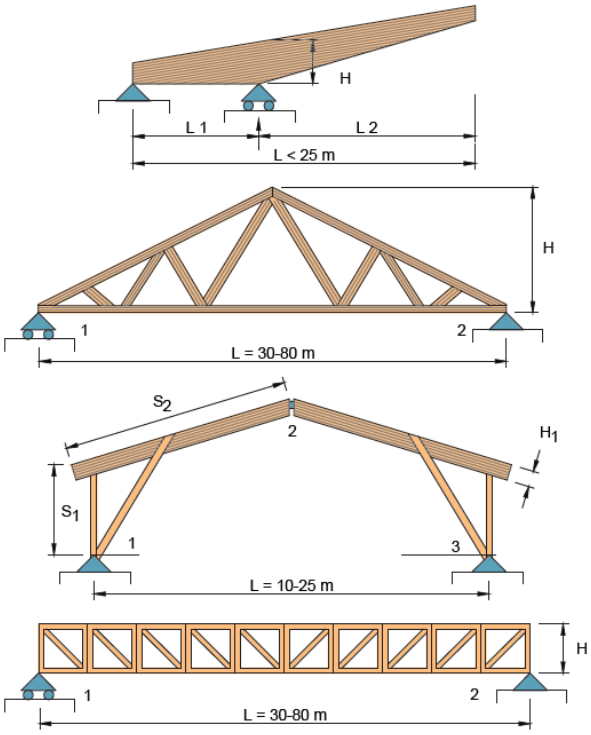
Viga Biapoiada com Dupla Inclinação

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
3° - 10°	**10 - 25m**	**$H_0 \approx L/30$** **$H_1 \approx L/16$**

Viga Arqueada com Dupla Inclinação

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
3° - 15°	**10 - 25m**	**$H_0 \approx L/30$** **$H_1 \approx L/16$**

F.01 Tipologias Construtivas



Consola / Balanço

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
< 10°	**10 - 25m**	**H ≈ L/10**

Treliça

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
≥ 15°	**25 - 90m**	**H ≈ L/8**

Pórtico Triarticulado com Mão Francesa

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
≥ 15°	**10 - 30m**	**$H_1 \approx (S_1+S_2)/15$**

Treliça de Banzos Paralelos

Inclinação - **i**	Vão - **L**	Altura - **H**
0°	**30 - 80m**	**H ≈ L/200**

F.01 Tipologias Construtivas

ANEXO D: Pré-dimensionamento de e pilares vigas de MLC. Caderno de Detalhes Construtivos. Rewood. 2020.p.41. Disponível em: https://rewood.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Caderno-de-Detalhes-Construtivos-R06-2020.pdf. Acesso: 28/05/2022.

				Biapoiada	Triapoiada	Balanço duplo a=L/2	Balanço duplo a=L/4	Balanço duplo a=L/8	Balanço simples a=L/2	Balanço simples a=L/4	Balanço simples a=L/8
Peça	Uso	Largura da peça	Espaçamento (CM)	Vão / % = altura (MLC de Pinus Rewood CM)							
Terças	Cobertura TPO	8cm	60	4%	3%	5%	4%	5%	3%	4%	5%
Terças	Cobertura Telha Termoacústico	8cm	150	5%	3%	5%	4%	5%	4%	5%	5%
			250	5%	4%	6%	5%	6%	5%	6%	6%
Terças	Pergolado Vidro	8cm	50	4%	3%	4%	4%	4%	3%	4%	4%
			100	5%	4%	5%	5%	6%	4%	5%	6%
Barrote	Piso Painel Wall	8cm	40	5%	4%	5%	5%	5%	4%	5%	5%
			60	5%	4%	6%	5%	6%	5%	6%	6%
			80	6%	4%	7%	6%	7%	5%	6%	7%
Vigas	Cobertura TPO	12cm	200	6%	4%	6%	5%	6%	5%	6%	6%
			400	7%	5%	8%	7%	8%	6%	7%	8%
			600	8%	6%	9%	8%	9%	7%	8%	9%
Vigas	Cobertura Telha Termoacústico	12cm	200	5%	4%	5%	5%	5%	4%	5%	5%
			400	6%	5%	7%	6%	7%	5%	6%	7%
			600	7%	5%	8%	7%	8%	6%	7%	8%
Vigas	Pergolado Vidro	12cm	200	6%	4%	6%	6%	6%	5%	6%	6%
			400	7%	5%	8%	7%	8%	6%	7%	8%
			600	8%	6%	9%	8%	9%	7%	9%	9%
Vigas	Piso Painell Wall	14cm	200	8%	6%	9%	8%	9%	7%	8%	9%
			400	9%	7%	10%	9%	10%	8%	10%	11%
			600	10%	8%	12%	10%	12%	9%	11%	12%

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES (PINUS / EUCALIPTO)

Tipo de estrutura	Espaçamento entre pilares		
	3m	4m	>5m
Cobertura P.D. 3m	16x16	16x16	16x16
Cobertura P.D. 4m	16x16	18x18	18x18
Cobertura P.D. 5m	18x18	20x20	22x22
1 pavimento + cobertura P.D. 3m	16x16	18x18	20x20
2 pavimentos + cobertura P.D. 3m	20x20	22x22	24x24
3 pavimentos + cobertura P.D. 3m	22x22	24x24	26x26

Para larguras de vigas, barrotes e terças diferentes, aplicar a seguinte expressão:
h2 = h1 * (b1/b2)^(1/3)

Onde h2 é a altura da peça de largura b2 comparada a uma peça de largura b1 e altura h1
Para alturas de vigas, barrotes e terças em MLC de Eucalipto, considerar redução de 12,5% em relação as peças em MLC de Pinus

a= balanço

ANEXO E: Dimensões padrão para os painéis de CLT. Pré-dimensionaemento Cross Laminated Timber.p.3. Crosslam. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 28/05/2022.

PAINEL ESTRUTURAL CLT

ESPESSURAS POSSÍVEIS PARA PAINÉIS DE PAREDES E LAJES

CAMADA SUPERCIAL DO PAINEL DE PAREDE NA DIREÇÃO TRANSVERSAL (DT)

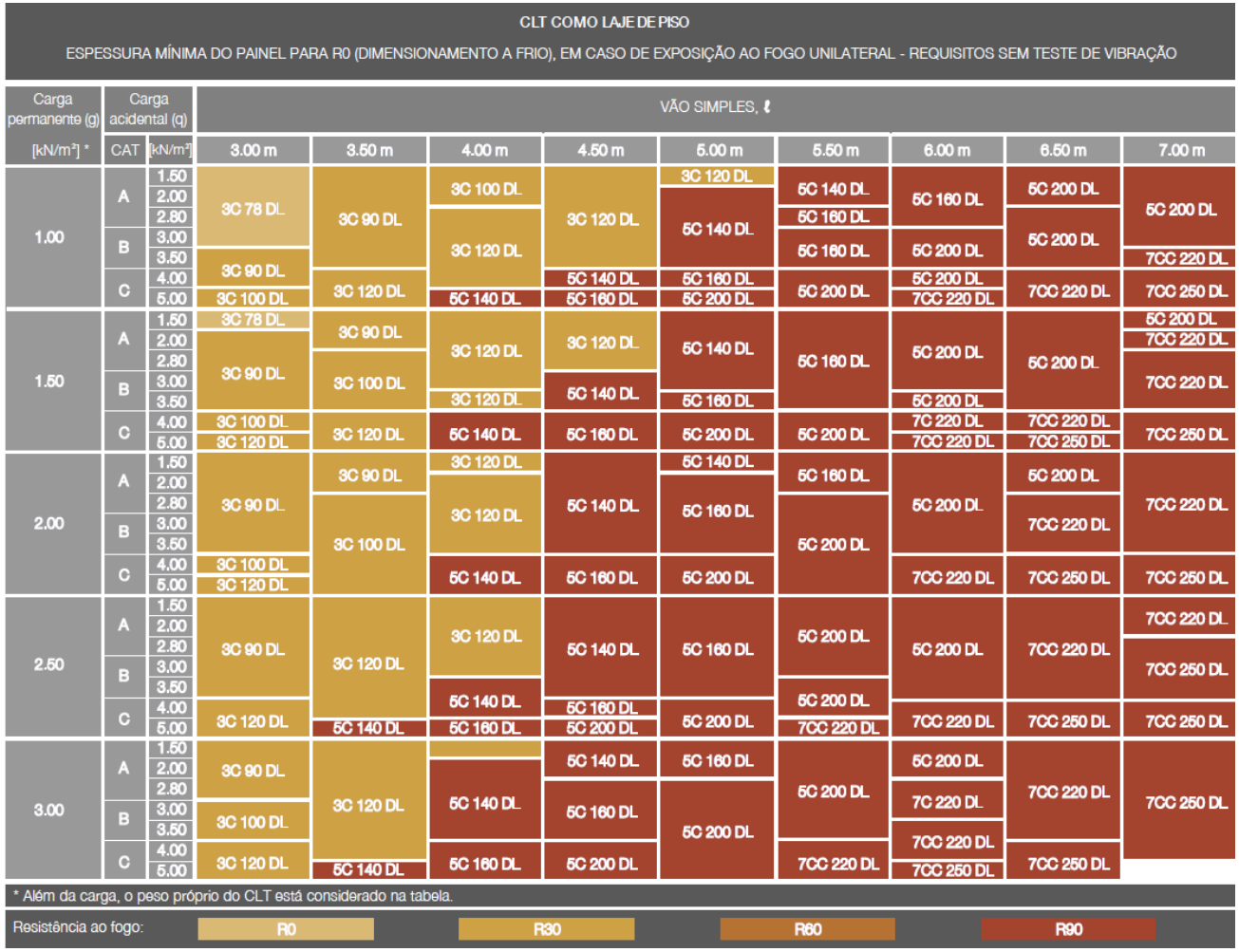
Espessura nominal [mm]	Quantidade de camadas	Espessura da lamela [mm]							Largura do painel padrão [m]	Comprimentos máximos do painel [m]
		T	L	T	L	T	L	T		
57	3 C	19	19	19					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
60	3 C	20	20	20					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
78	3 C	19	40	19					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
80	3 C	20	40	20					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
90	3 C	30	30	30					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
100	3 C	30	40	30					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
120	3 C	40	40	40					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
95	5 C	19	19	19	19	19			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
100	5 C	20	20	20	20	20			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
120	5 C	20	40	20	40	20			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
140	5 C	40	20	20	20	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
160	5 C	40	20	40	20	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
200	5 C	40	40	40	40	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
220	7 C	40	20	40	20	40	20	40	2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
250	7 C	40	30	40	30	40	30	40	2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90

CAMADA SUPERCIAL DO PAINEL DE LAJE NA DIREÇÃO LONGITUDINAL (DL)

Espessura nominal [mm]	Quantidade de camadas	Espessura da lamela [mm]							Largura do painel padrão [m]	Comprimentos máximos do painel [m]
		L	T	L	T	L	T	L		
57	3 C	19	19	19					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
60	3 C	20	20	20					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
78	3 C	19	40	19					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
80	3 C	20	40	20					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
90	3 C	30	30	30					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
100	3 C	30	40	30					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
120	3 C	40	40	40					2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
95	5 C	19	19	19	19	19			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
100	5 C	20	20	20	20	20			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
120	5 C	20	40	20	40	20			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
140	5 C	40	20	20	20	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
160	5 C	40	20	40	20	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
200	5 C	40	40	40	40	40			2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
220	7 C	40	20	40	20	40	20	40	2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90
250	7 C	40	30	40	30	40	30	40	2.40 / 2.50 / 2.75 / 2.95	11.90

ANEXOS | 112

ANEXO F: Pré-dimensionamento de lajes de piso de CLT. Pré-dimensionaemento Cross Laminated Timber.p.7. Crosslam. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 28/05/2022.



CLT COMO LAJE DE PISO

ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIO), EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS SEM TESTE DE VIBRAÇÃO

Carga permanente (g)	Carga acidental (q)		VÃO SIMPLES, ℓ								
[kN/m²] *	CAT	[kN/m²]	3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m
1.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL
		2.00					5C 140 DL	5C 160 DL		5C 200 DL	7CC 220 DL
		2.80			3C 120 DL			5C 160 DL	5C 200 DL		
	B	3.00	3C 90 DL			5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		3.50		3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL		7CC 220 DL		
	C	4.00	3C 100 DL								
		5.00									
1.50	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL
		2.00	3C 90 DL								7CC 220 DL
		2.80		3C 100 DL		5C 140 DL	5C 160 DL				7CC 220 DL
	B	3.00			3C 120 DL				5C 200 DL		
		3.50									
	C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		5.00	3C 120 DL						7CC 220 DL	7CC 250 DL	
2.00	A	1.50	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL
		2.00								7CC 220 DL	
		2.80		3C 100 DL	3C 120 DL		5C 160 DL	5C 200 DL			
	B	3.00							5C 200 DL		
		3.50									
	C	4.00	3C 100 DL		5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL		7CC 220 DL	7CC 250 DL	7CC 250 DL
		5.00	3C 120 DL								
2.50	A	1.50	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL
		2.00									
		2.80									7CC 250 DL
	B	3.00			5C 140 DL	5C 160 DL		5C 200 DL			
		3.50									
	C	4.00	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	7CC 250 DL
		5.00									
3.00	A	1.50	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		2.00							7C 220 DL		
		2.80				5C 160 DL	5C 200 DL		7CC 220 DL		
	B	3.00	3C 100 DL						7CC 250 DL		
		3.50									
	C	4.00	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	7CC 250 DL
		5.00									

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

Resistência ao fogo: R0 R30 R60 R90

ANEXO G: Pré-dimensionamento de lajes de piso de CLT. Pré-dimensionaemento Cross Laminated Timber. Crosslam.p.9. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 28/05/2022.

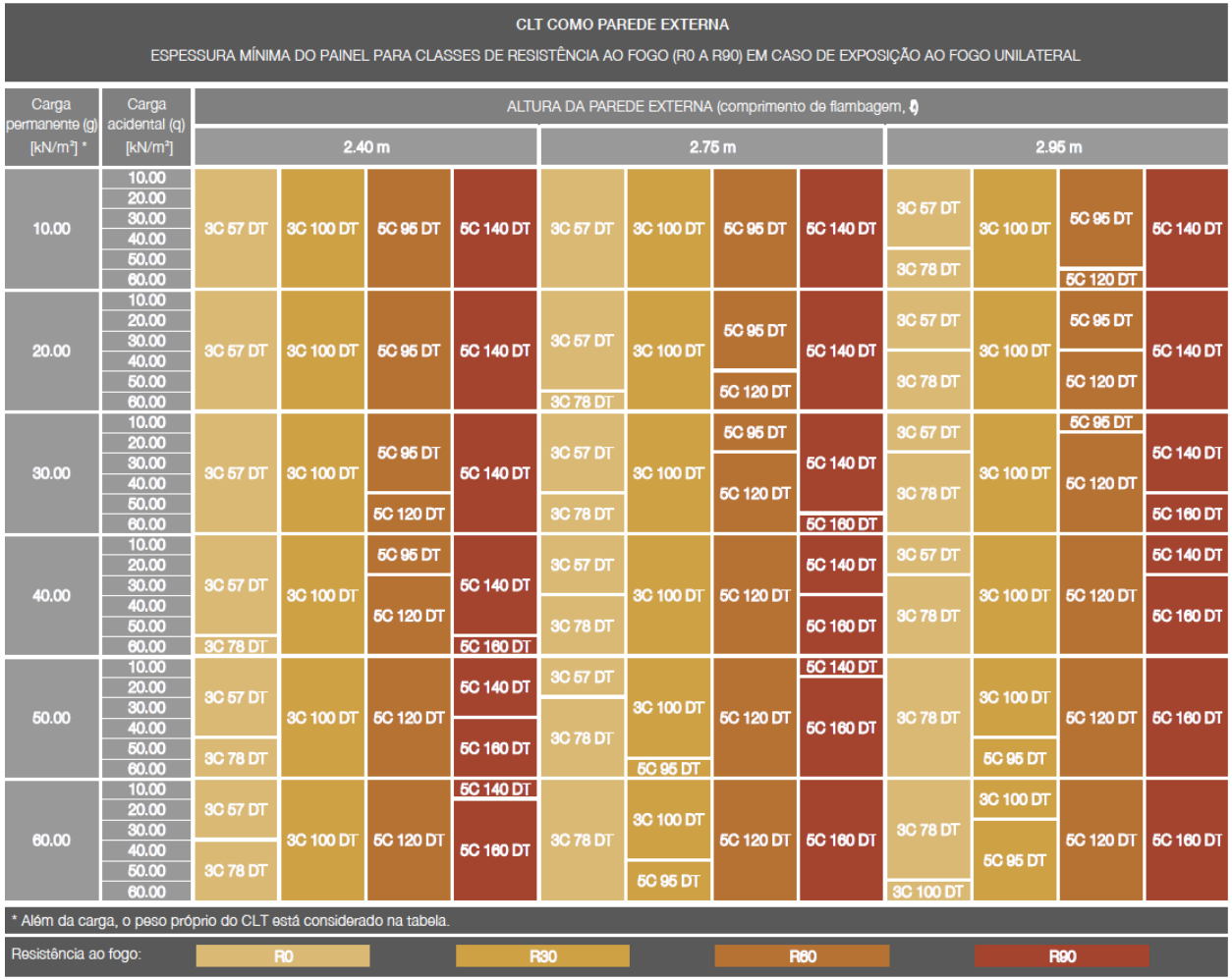
CLT COMO LAJE DE PISO - VÃO DUPLO

ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIO) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS SEM TESTE DE VIBRAÇÃO

Carga permanente (g)	Carga acidental (q)		VÃO DUPLO, ℓ_1								
[kN/m²] *	CAT	[kN/m²]	3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m
1.00	A	1.50	3C 57 DL	3C 78 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 140 DL
		2.00			3C 90 DL						5C 160 DL
		2.80	3C 78 DL			3C 100 DL		5C 140 DL		5C 160 DL	
	B	3.00				3C 120 DL	3C 120 DL			5C 160 DL	5C 200 DL
		3.50		3C 90 DL							
	C	4.00						5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL
		5.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL
1.50	A	1.50	3C 78 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 160 DL
		2.00				3C 100 DL				5C 160 DL	
		2.80				3C 120 DL	3C 120 DL			5C 160 DL	5C 200 DL
	B	3.00		3C 90 DL							
		3.50			3C 120 DL	3C 120 DL					
	C	4.00	3C 90 DL				5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL
		5.00		3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL					7CC 220 DL
2.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL
		2.00		3C 90 DL					5C 160 DL		
		2.80									
	B	3.00			3C 100 DL				5C 160 DL	5C 200 DL	
		3.50									
	C	4.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL
		5.00		3C 120 DL	3C 120 DL		5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
2.50	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL
		2.00								5C 200 DL	
		2.80			3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL		5C 160 DL		5C 200 DL
	B	3.00									
		3.50			3C 120 DL						
	C	4.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL
		5.00		3C 120 DL			5C 160 DL	5C 200 DL			
3.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL
		2.00									
		2.80			3C 120 DL		5C 140 DL	5C 160 DL			
	B	3.00							5C 200 DL		
		3.50									
	C	4.00	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL
		5.00								7CC 220 DL	7CC 250 DL

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

ANEXO H: Pré-dimensionamento de paredes de CLT. Pré-dimensionaemento Cross Laminated Timber.p.4. Crosslam. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 28/05/2022.



CLT COMO PAREDE EXTERNA

ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA CLASSES DE RESISTÊNCIA AO FOGO (R0 A R90) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL

Carga permanente (g) [kN/m²] *	Carga acidental (q) [kN/m²]	ALTURA DA PAREDE EXTERNA (comprimento de flambagem, ℓ_f)											
		2.40 m				2.75 m				2.95 m			
10.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT
	20.00									3C 78 DT		5C 120 DT	
	30.00												
	40.00												
	50.00												
	60.00												
20.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT
	20.00									3C 78 DT		5C 120 DT	
	30.00					3C 78 DT		5C 120 DT					
	40.00												
	50.00												
	60.00												
30.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT
	20.00												
	30.00			5C 120 DT		3C 78 DT		5C 120 DT		3C 78 DT		5C 120 DT	
	40.00								5C 160 DT				5C 160 DT
	50.00												
	60.00												
40.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT
	20.00												
	30.00			5C 120 DT		3C 78 DT			5C 160 DT	3C 78 DT			5C 160 DT
	40.00												
	50.00												
	60.00	3C 78 DT			5C 160 DT								
50.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT	3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 160 DT
	20.00												
	30.00					3C 78 DT			5C 160 DT				
	40.00				5C 160 DT								
	50.00	3C 78 DT					5C 95 DT				5C 95 DT		
	60.00												
60.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT	3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 160 DT	3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 160 DT
	20.00												
	30.00				5C 160 DT								
	40.00						5C 95 DT				5C 95 DT		
	50.00	3C 78 DT								3C 100 DT			
	60.00												

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

Resistência ao fogo: R0 R30 R60 R90

ANEXO I: Pré-dimensionamento de paredes de CLT. Pré-dimensionaemento Cross Laminated Timber.p.5. Crosslam. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 28/05/2022.

CLT COMO PAREDE INTERNA

ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA CLASSES DE RESISTÊNCIA AO FOGO (R0 A R90) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL

Carga permanente (g) [kN/m²] *	Carga acidental (q) [kN/m²]	ALTURA DA PAREDE INTERNA (comprimento de flambagem, ℓ)											
		2.40 m				2.75 m				2.95 m			
10.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT
20.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT
30.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT
40.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT 5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT
50.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT 5C 95 DT	5C 120 DT	5C 160 DT
60.00	10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT	5C 120 DT	5C 140 DT 5C 160 DT	3C 57 DT 3C 78 DT	3C 100 DT 5C 95 DT	5C 120 DT	5C 160 DT	3C 78 DT	3C 100 DT 5C 95 DT	5C 120 DT	5C 160 DT

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

Resistência ao fogo: R0 R30 R60 R90

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

TERMO DE ENCAMINHAMENTO DE TRABALHO DE CURSO 2

Nome do(a) Aluno(a): Vinícius Pontes e Silva Nº de matrícula: 17.1.1422

Titulo do trabalho: Estrutura de Madeira: repensando os edifícios de múltiplos pavimentos

Orientador(a): Clécio Magalhães do Vale

Eu, professor(a) Clécio Magalhães do Vale, encaminho para avaliação final da disciplina TFG 2 (ARQ 381) o Caderno de TC, elaborado pelo(a) aluno(a) acima identificado(a), sob minha orientação. Declaro que o(a) aluno(a) foi frequente em mais de 75% das orientações.

Orientador tem conhecimento

Ouro Preto, 17 de Outubro de 2022

Assinatura do(a) Orientador(a)