



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

ISABELLA FREITAS
LUIZA CANO MARQUES

Sistema WOOD FRAME: aspectos construtivos

São Paulo
2023



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

ISABELLA FREITAS
LUIZA CANO MARQUES

Sistema WOOD FRAME: aspectos construtivos

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado a Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Profª Dra. Karen Niccoli Ramirez.

Orientadora: Prof. Dra. Karen Niccoli Ramirez

São Paulo
2023



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

ISABELLA FREITAS
LUIZA CANO MARQUES

Sistema WOOD FRAME: aspectos construtivos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Prof^a Dra. Karen Niccoli Ramirez.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Karen Niccoli Ramirez

Prof. Me. Matheus Lorena Gonçalves Marquesi

Prof.Dr. Francisco Xavier Sevegnani



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

“Quantas coisas eram consideradas impossíveis antes serem de fato realizadas?”

Plínio, o Velho



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

RESUMO

A construção civil é um setor em crescimento no Brasil, mas que enfrenta desafios em termos impactos ambientais, como o descarte inadequado de resíduos. A preocupação com a sustentabilidade tem levado ao desenvolvimento de soluções inovadoras, como o sistema construtivo *Wood Frame*. Uma alternativa sustentável em termos de tecnologia e materiais de construção, esse sistema utiliza estruturas de madeira leve e materiais isolantes para construir casas e edifícios, oferecendo eficiência energética, rapidez na construção e redução de resíduos. Neste estudo, desenvolvido na forma de pesquisa a partir de uma ampla revisão bibliográfica em fontes acadêmicas, livros, artigos científicos e publicações relevantes sobre o sistema construtivo, apresenta-se uma análise detalhada sobre essa técnica construtiva que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado. O estudo evidencia os conceitos e características essenciais do *Wood Frame*, sua origem histórica, evolução e princípios que o orientam. Além disso, aborda diversos temas relacionados ao sistema construtivo *Wood Frame*, como o conceito e a história do *Wood Frame*, normas e recomendações, processo de fabricação e logística, processo de construção. Também foram realizadas entrevistas com especialistas, que fornecem informações valiosas sobre a aplicação prática dessa técnica construtiva. A pesquisa evidencia informações relevantes e atualizadas sobre o *Wood Frame*, para que profissionais da área da construção civil possam exemplificar como é a utilização deste método construtivo na prática.

Palavras-chaves: *Wood Frame*, aspectos construtivos, construção civil, sustentabilidade, tecnologia.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

ABSTRACT

The construction sector is a growing industry in Brazil, bringing socio-economic benefits. However, the construction industry still faces challenges in terms of socio-environmental responsibility, such as improper waste disposal. Concern for sustainability has led to the development of innovative solutions, such as the *Wood Frame* construction system. As a sustainable alternative in terms of technology and building materials, this system uses lightweight wood structures and insulating materials to construct houses and buildings, offering energy efficiency, construction speed, and waste reduction. In this study, developed in the form of research through an extensive literature review from academic sources, books, scientific articles, and relevant publications on the construction system, it presents a detailed analysis of this construction technique that is gaining more and more space in the market. The study highlights the essential concepts and characteristics of *Wood Frame*, its historical origin, evolution, and guiding principles. It also addresses various topics related to the *Wood Frame* construction system, such as the concept and history of *Wood Frame*, standards and recommendations, the manufacturing process, logistics, the construction process, and interviews with experts, providing valuable information about the practical application of this construction technique. As final considerations, the main points addressed in the research are presented with the aim of providing relevant and up-to-date information about *Wood Frame*, so that professionals in the construction industry can evaluate the feasibility of its use in their projects.

Keywords: *Wood Frame*, manufacturing process, construction industry, sustainability, technologies.



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- PAREDE INTERNA REVESTIDA DE PLACA DE GESSO	7
FIGURA 2 – CASA CONSTRUÍDA COM O SISTEMA <i>WOOD FRAME</i>	14
FIGURA 3- CASA UTILIZADA SISTEMA <i>HEAVY TIMBER FRAME</i>	15
FIGURA 4- TEMPLO HOYU-JI.	16
FIGURA 5- YORK RESIDENCIAL.....	17
FIGURA 6 - PERCENTUAL DE UTILIZAÇÃO DO <i>WOOD FRAME</i> NA AMÉRICA DO NORTE.	18
FIGURA 7- RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA/PESO DE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.	25
FIGURA 8 – MADEIRA DURA, IPÊ.	25
FIGURA 9– MADEIRA MOLE, PINHO DO PARANÁ.....	26
FIGURA 10– CAMADAS DE UM TRONCO.	26
FIGURA 11 – DETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	29
FIGURA 12- SISTEMA DE ORIENTAÇÃO PARA DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA ..	32
FIGURA 13 - RESISTENCIA A COMPRESSÃO	32
FIGURA 14 - RESISTENCIA A TRAÇÃO	33
FIGURA 15 – PEÇAS DE <i>WOOD FRAME</i> EMBALADAS PARA TRANSPORTE.....	34
FIGURA 16-MANUFATURA DOS PAINÉIS OSB: (A) CORTE DAS TORAS; (B) E (C) GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS; (D) “STRANDS”; (E) ENCOLAGEM; E (F) Prensagem a quente.	36
FIGURA 17 – ESTRUTURA <i>WOOD FRAME</i> SOBRE FUNDAÇÃO <i>RADIER</i>	41
FIGURA 18-CORTE ESQUEMÁTICO DA FUNDAÇÃO <i>BASEMENT WALL</i>	42
FIGURA 19 - FUNDAÇÃO <i>CRAWL SPACE</i>	43
FIGURA 20 - CHAPA DE OSB COM 11,1 MM.....	44
FIGURA 21- ELEMENTOS DE UMA PAREDE ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i>	44
FIGURA 22- INDICAÇÃO DA GUIA SUPERIOR.....	45
FIGURA 23- INDICAÇÃO DO MONTANTE.....	45
FIGURA 24-INDICAÇÃO DA VERGA.....	46
FIGURA 25 - INDICAÇÃO DOS BLOCOS.	46
FIGURA 26 - INDICAÇÃO DAS GUIAS INFERIORES.	46
FIGURA 27 – PREGO DO TIPO ARDOX.....	47
FIGURA 28– MEIOS DE PREGAÇÃO NO SISTEMA <i>WOOD FRAME</i>	48
FIGURA 29- COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO <i>WOOD FRAME</i> SOB A AÇÃO DO VENTO.	48



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

FIGURA 30– CASA NO SISTEMA <i>WOOD FRAME</i> COM FECHAMENTO EXTERNO EM CHAPAS OSB.....	50
FIGURA 31– PLACA DE OSB.....	50
FIGURA 32– EFEITOS DO VENTO NA SUPERESTRUTURA A) TRANSLAÇÃO E B) TOMBAMENTO.	51
FIGURA 33– ANCORAGEM EM PLACA METÁLICA FIXADA NA PLACA DE OSB.....	52
FIGURA 34- PAINEL EM PLACAS CIMENTÍCIAS E MIOLO DE MADEIRA.....	53
FIGURA 35- APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO.....	54
FIGURA 36 - APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO.....	54
FIGURA 37 - INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS.....	55
FIGURA 38 - INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS.....	55
FIGURA 39 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	56
FIGURA 40 - CAMADAS DE UM TELHADO DE TELHA <i>SHINGLE</i>	57
FIGURA 41 - TIPOS DE <i>VINYL SIDING</i>	58
FIGURA 42 - CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO.....	59
FIGURA 43- CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO.....	60
FIGURA 44-PROJETO ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA GAUCHO.....	61
FIGURA 45- PROJETO ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA GAUCHO.....	62
FIGURA 46- CAMADAS DE UMA PAREDE DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA GAUCHO.....	63
FIGURA 47- TESOURA DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA GAUCHO.....	64
FIGURA 48- MADEIRA DE EUCALIPTO.....	65
FIGURA 49- OBRAS DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA FRAME SYSTEM.....	66
FIGURA 50- PROJETO ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA FRAME SYSTEM.....	67
FIGURA 51- PROJETO ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA FRAME SYSTEM.....	68
FIGURA 52 - PROJETO ESTRUTURAL DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA <i>FRAME SYSTEM</i>	69
FIGURA 53 - VISTA LATERAL DA CASA DE <i>WOOD FRAME</i> DA CONSTRUTORA <i>FRAME SYSTEM</i>	69
FIGURA 54 - CASA CONSTRUÍDA PELA <i>FRAME SYSTEM</i>	71



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
1.1	Objetivos	8
1.1.1	Objetivo Geral	8
1.1.2	Objetivos Específicos	8
1.2	Metodologia	9
1.3	Justificativa	10
1.4	Estrutura Da Pesquisa	12
2.	HISTÓRICO	13
2.1.	Conceito Wood Frame	13
2.2.	História <i>Wood Frame</i>	16
2.3.	História <i>Wood Frame</i> Brasil	18
3.	NORMAS E RECOMENDAÇÕES	20
3.1.	Normas Internacionais	20
3.2.	Normas Nacionais	22
3.3.	Madeiras no Sistema <i>Wood Frame</i>	24
3.4.	Segurança da edificação em <i>Wood Frame</i> contra incêndio	28
4.	FABRICAÇÃO	31
4.1.	Madeira	31
4.2.	Isolamento Térmico e Acústico	34
4.3.	Placas OSB - <i>Oriented Strand Board</i>	35
4.4.	Revestimentos Externos	36
4.5.	Sistemas de Telhado	37
4.6.	Janelas e Portas	37
4.7.	Sistemas Elétricos e Hidráulicos	38
5.	PROCESSO CONSTRUTIVO	39
5.1.	Planejamento da construção	39
5.2.	Processo construtivo	40
5.2.1.	Fundações	40
5.2.2.	Paredes estruturais	43
5.2.3.	Ancoragem	50
5.2.4.	Lajes	52
5.2.5.	Instalações hidrossanitárias e elétricas	55
5.2.6.	Telhado	56
5.2.7.	Revestimento externo	57
5.2.8.	Impermeabilização	59
5.2.9.	Isolamento térmico e acústico	59
5.3.	Fluxograma do processo construtivo	59
6.	ENTREVISTAS COM PROFISSIONAIS DO MEIO	61
6.1.	Entrevista com a Construtora Gaucho	61
6.2.	Entrevista com a <i>Frame System</i>	64
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
8.	REFERÊNCIAS	74



1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um conceito que se concentra na preservação dos recursos naturais e no desenvolvimento econômico e social a longo prazo. Vem se tornando uma preocupação global, com muitos governos, empresas e indivíduos trabalhando para criar um mundo mais sustentável. A construção civil tem apresentado altas taxas de crescimento no Brasil e vem trazendo benefícios socioeconômicos, como por exemplo criação de infraestrutura, geração de empregos e renda, além da redução do déficit habitacional (DE CONTO et al, 2016).

A cadeia produtiva da construção é subdividida em seis subsetores, que são respectivamente na ordem de maior participação ativa na economia nacional: construção, indústria de materiais, comércio de materiais, outros fornecedores, serviços, máquinas e equipamentos (CBIC, 2020). A construção civil é um grande setor que por um lado de ser benéfico à sociedade é um grande gerador de resíduos incluindo os provenientes da demolição, da construção e industriais. A preocupação pela sustentabilidade ser tornou um tema muito discutido e, pensando nisso, o setor vem adotando soluções inovadoras para contribuir para a gestão sustentável de resíduos e reduzir seu significativo impacto na sua geração. Com disso, apresenta-se a inserção da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais — Desempenho, no qual seu escopo destina-se à redução do impacto da construção civil no meio ambiente (DE CONTO et al, 2016).

Nesse contexto, o sistema construtivo *Wood Frame* que tem origem na América do Norte, mais especificamente nos Estados Unidos e no Canadá e já é popular em países como Nova Zelândia, Austrália, utiliza estruturas de madeira leve, painéis estruturais e isolantes térmicos para construir casas e edifícios, devido à sua eficiência energética, rapidez de construção, resistência a terremotos e tornados (SANTOS e SOTSEK, 2018) e também por ser uma opção de menor impacto ambiental, já que utiliza madeira proveniente de manejo florestal responsável, tornando-se alternativa inovadora ao meio, pela redução significativa percentual de geração de resíduos durante a construção do edifício. (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010).

O *Wood Frame* torna-se alternativa mais rápida e econômica para a construção de casas de até cinco pavimentos (DA SILVA, CAMPOS, 2022), principalmente em áreas em que a oferta de madeira é alta, que o clima permite o

aproveitamento do material; e o Brasil possui enorme disponibilidade de áreas de reflorestamento. As duas espécies mais utilizadas para esse fim, pínus e eucalipto, apresentam elevada taxa de crescimento (MOLINA; CALIL, 2010).

O método construtivo consiste em uma estrutura de madeira composta por vigas, pilares e painéis estruturais, revestidos com outros materiais como painel de fios orientados, isolamento térmico e acústico e pintura externa; os painéis estruturais de madeira são unidos com parafusos e pregos, formando uma estrutura rígida e resistente. A estrutura é então revestida com placas de gesso, madeira compensada ou outro material, para formar as paredes interiores e exteriores da casa (ESPÍNDOLA, 2017).

Figura 1- Parede interna revestida de placa de gesso



Fonte: Zaparte, 2014 p.55

Nos últimos anos, o *Wood Frame* tem ganhado popularidade em outros países, incluindo o Brasil, onde o método construtivo tem sido utilizado principalmente na construção de casas populares, edifícios comerciais e industriais. Quando construída e mantida adequadamente, uma casa em *Wood Frame* pode ter uma vida útil de 50 anos ou mais. A utilização do *Wood Frame* em construções tem como vantagens a rapidez da construção, a redução de custos, a facilidade de adaptação a diferentes terrenos e a durabilidade da construção (VASQUES, PIZZO, 2014).

Diante desse cenário, esta pesquisa visa descrever e entender a cadeia de produção, fabricação e montagem do sistema *Wood Frame*.



1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é estudar, compreender e discorrer sobre o processo construtivo do sistema *Wood Frame* sobre sua cadeia de produção e montagem do sistema *Wood Frame*.

1.1.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa tem como objetivos específicos fundamentar um estudo sobre os conceitos e características do sistema construtivo *Wood Frame*, assim como apresentar suas origens, evolução ao longo do tempo e os princípios fundamentais que o norteiam.

A pesquisa também busca analisar as características das madeiras mais utilizadas no *Wood Frame*, suas propriedades físicas e mecânicas, bem como os critérios de seleção e os tratamentos necessários para garantir a durabilidade e a resistência do material ao longo do tempo.

Além disso, busca-se enfatizar as particularidades construtivas do *Wood Frame*, discutindo os diferentes componentes e técnicas utilizadas na montagem das estruturas.

E por fim, realizar um estudo sobre a sequência de etapas, desde a concepção do projeto até a finalização da obra. Incluindo o planejamento, a logística de materiais, a execução das estruturas, os ensaios de desempenho e a conclusão do empreendimento.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

1.2 Metodologia

Trata-se de uma pesquisa exploratória baseada em revisão de literatura em fontes acadêmicas, livros, artigos científicos, teses, dissertações, e publicações relevantes sobre o sistema construtivo *Wood Frame*. Esse levantamento permitiu a compreensão dos conceitos e características essenciais do *Wood Frame*, sua origem histórica, evolução e princípios que o orientam.

Para complementar a pesquisa, entrevistas com especialistas na área de engenharia e arquitetura com experiência em construções em madeira foram realizadas para fornecer *insights* e conhecimentos adicionais sobre a seleção e tratamento da madeira, proporcionando uma visão aprofundada sobre as práticas construtivas específicas e os desafios enfrentados na implementação desse sistema.

Com o propósito de enriquecer o trabalho, um estudo de campo com entrevista com especialistas do meio foi realizado, no intuito de mapear as etapas de construção e coletar dados relevantes para análise. As informações obtidas foram interpretadas para responder aos objetivos específicos da pesquisa, permitindo as considerações embasadas sobre os conceitos, características e particularidades do sistema construtivo *Wood Frame*.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

1.3 Justificativa

No Brasil, sistemas construtivos tradicionais como alvenaria e concreto armado ainda são utilizados em larga escala, muitas vezes utilizando materiais com alto impacto ambiental e social, como blocos de fabricação irregular e telhas em cerâmica (SANTOS; SOTSEK, 2018). Por esse motivo, a construção civil é considerada um dos setores com maior impacto ambiental decorrente do uso elevado de recursos naturais como matérias-primas e pela alta geração de resíduos. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2018) - Abrecon - são gerados aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção civil e demolição por ano.

Atualmente, fala-se muito de sustentabilidade e muitas alternativas vem sendo discutidas no eixo construtivo que visa meios mais acessíveis, tecnológicos e sustentáveis em comparação a outros processos construtivos. Existem diversos fatores que influenciam a utilização de meios de menor impacto na construção, dentre elas destacam-se: eficiência energética e hídrica, saúde e conforto dos ocupantes e imagem da empresa que produz o empreendimento (ROQUE, 2018). Existem algumas tecnologias adentrando no mundo da construção civil e o sistema construtivo *Wood Frame*, é uma dessas novas tecnologias, na qual utiliza a madeira como principal fonte de sustentação estrutural e de vedação do edifício.

Enfatizar as particularidades construtivas do *Wood Frame*, permite compreender como a técnica é executada, desde a fabricação das peças até a montagem final, identificando as práticas que maximizam a eficiência e minimizam o desperdício de recursos naturais. A análise das características da madeira empregada no *Wood Frame* é fundamental, visto que a madeira, quando utilizada de forma consciente e responsável, pode ser uma matéria-prima renovável e de baixo impacto ambiental.

A análise dos processos construtivos do sistema *Wood Frame* é um aspecto essencial para compreender os desafios e oportunidades inerentes a essa técnica construtiva. Essa pesquisa proporciona informações relevantes para identificar boas práticas e possíveis ajustes que possam otimizar a eficiência e a qualidade das construções.

Dessa forma, a presente pesquisa tem um esforço para fomentar o conhecimento sobre o sistema construtivo *Wood Frame* e seu potencial para



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

promover a sustentabilidade na construção civil. A disseminação de informações sobre essa alternativa construtiva poderá incentivar a adoção de práticas mais conscientes e amigáveis ao meio ambiente, alinhando-se às demandas por um desenvolvimento mais sustentável e responsável no setor da construção civil.



1.4 Estrutura Da Pesquisa

A presente pesquisa está estruturada em nove capítulos.

No capítulo 1, são apresentados introdução, objetivos, metodologia, justificativa e estrutura da pesquisa.

Já no capítulo 2, apresenta-se o conceito de *Wood Frame* e sua origem.

No capítulo 3, destacam-se as normas e recomendações tanto internacionais quanto nacionais no que tange a construção.

No capítulo 4, são evidenciados o processo de fabricação das peças e a logística.

No capítulo 5, o processo construtivo é descrito, a montagem, alguns detalhes e, consta com um fluxograma de todo o processo.

No intuito de ilustrar na prática a construção do sistema construtivo *Wood Frame*, o capítulo 6 relata entrevistas com construtoras especializadas na área, expondo suas obras.

Já no capítulo 7, apresenta-se as considerações finais e as propostas para futuras pesquisas.

As referências utilizadas no desenvolvimento do trabalho estão apresentadas no capítulo 8.



2. HISTÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as características básicas do *Wood Frame*. Na sequência apresenta-se os primeiros registros do sistema e sua história ao decorrer dos anos, apresentando o primeiro período da adoção do *Wood Frame* no território brasileiro, situado entre as décadas de 1980 e de 2000.

2.1. Conceito Wood Frame

O termo *Wood Frame* deriva da utilização de madeira como estrutura principal de uma construção (ZAPARTE, 2014).

Para uma construção ser considerada sustentável é necessário atender alguns pré-requisitos como por exemplo o uso de materiais que ajudam no conforto termo-acústico, eficiência energética, menor geração de resíduos, racionalização de materiais e aplicação de tecnologias que não agridam o meio ambiente (ZAPARTE, 2014).

De acordo com o Canadian Wood-Frame, o *Wood Frame* atende a todos estes requisitos para uma construção sustentável, além de ser rápido e fácil de construir, adaptáveis a diversos tipos de climas e é constituído a partir de um recurso renovável (ZAPARTE, 2014).

O sistema de construção em *Wood Frame* é destinado a habitações. Essencialmente, ele baseia-se em elementos estruturais constituídos por perfis de madeira provenientes de reflorestamento e submetidos a tratamento específico (Figura 2). Esses perfis se combinam para formar painéis utilizados em pisos, paredes e coberturas. A integração e/ou revestimento desses painéis com outros materiais têm como propósito aprimorar a eficiência térmica e acústica do ambiente interno, simultaneamente conferindo proteção contra intempéries e resistência ao fogo à edificação, além de ser um sistema construtivo que reduz significativamente os desperdícios, que são altamente impactantes nos sistemas de construção tradicionais. (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010).

Figura 2 – Casa construída com o sistema *Wood Frame*



Fonte: Bernardo Silva, 2021 p.1

Segundo Allen e Thallon (2011), o *Wood Frame* tem suas raízes em meados de 1680, quando a chegada de imigrantes europeus aos Estados Unidos coincidiu com a descoberta de vastas florestas, oferecendo um potencial abundante de recursos madeireiros. Isso impulsionou a adoção da madeira como material primordial na construção de moradias. Inicialmente, as primeiras residências seguiram o modelo de construção europeu do *heavy timber frame*, um método de construção que usa madeiras serradas grandes, rústicas e pesadas ou madeira laminada com cola estrutural unida com marcenaria tradicional de encaixe e espiga ou marcenaria de metal moderna como mostra a Figura 3. À medida que o tempo passou e conhecimentos foram acumulados, as práticas construtivas evoluíram para melhor se adaptar ao clima norte-americano.

Figura 3- Casa utilizada sistema *heavy timber frame*



Fonte: Mass Timber, 2018, p.2.

Com o tempo e conhecimentos, foram mais de 300 anos, para o sistema construtivo *Wood Frame* surgir como é conhecido atualmente, isso aconteceu quando construtores perceberam que elementos verticais com espaçamento reduzido, utilizados para fechamento nas edificações de *heavy timber frame*, demonstravam capacidade suficiente para suportar as cargas estruturais. Com base nessa percepção, a necessidade de pilares de madeira maciços foi diminuindo gradualmente. Esse marco representou uma etapa crucial na trajetória do *Wood Frame*, culminando no desenvolvimento de uma abordagem construtiva mais leve e eficiente, sendo o sistema mais utilizado para execução de moradias nos Estados Unidos, nas quais a maior parte das novas edificações construídas são executadas completamente ou parcialmente no canteiro de obras.

A técnica de construção em *Wood Frame* se caracteriza por sua variabilidade, a qual é influenciada por diversos parâmetros, tais como o cronograma de execução, a disponibilidade de ferramentas e equipamentos, as dimensões e particularidades da estrutura a ser erigida, a composição da força de trabalho, entre outros.

De acordo com Espíndola e Ino (2014), a viabilidade de realizar a construção de forma parcial ou integral nas instalações da fábrica que está encarregada da execução do projeto, seguida pela montagem no local definitivo, implica em um processo que pode ser denominado de construção industrializada. Tal abordagem

apresenta potencial para reduzir os custos de produção, ao mesmo tempo que possibilita uma maior eficácia no planejamento.

2.2. História *Wood Frame*

A madeira é um material amplamente empregado na construção, com uma história de uso que remonta à antiguidade. Sua durabilidade é notável quando adequadamente tratada e preservada. Existem edifícios de estrutura em madeira, com mais de 1.300 anos de idade, ainda em uso hoje como testemunho dessa durabilidade excepcional (COINASKI, SIQUEIRA, 2016).

Um exemplo notável, que se pode ver na Figura 4, é o templo Horyu-ji, situado em Kobe, Japão, que data do século VIII. Este templo superou muitos edifícios modernos em termos de resistência e durabilidade, tendo resistido a um terremoto em 1994, demonstrando a capacidade intrínseca da madeira em suportar forças sísmicas.

Figura 4- Templo Horyu-ji.



Fonte: Kawanami, 2021. p. 2

No período colonial em 1578, no Canadá ocorreram os primeiros registros sobre casas de madeira. A partir desta data a tecnologia expandiu-se para outras localidades, entre elas Estados Unidos e Inglaterra, somando-se ao fato de

possuírem muitas flores a disposição (ZAPARTE, 2014), na Figura 5 apresenta-se uma construção americana no qual optaram pelo *Wood Frame*.

Figura 5- York Residencial



Fonte: Azoff, 2019, p.1.

Com a Revolução Industrial, esse modelo construtivo ganhou força e espaço no mercado, as técnicas construtivas deste modelo passaram a ficar cada vez mais modernas, sendo possível fabricar diversos perfis bem variados. Assim expandindo-se para todo território norte-americano. A primeira obra registrada deste sistema nos Estados Unidos se dê por volta de 1833, em Chicago, a Igreja de Santa Maria (ZAPARTE, 2014). Depois da Segunda Guerra Mundial, com a alta taxa de natalidade, o *Wood Frame* chegou no momento certo, pois o modelo utilizava materiais que eram facilmente encontrados nas localidades e os métodos de construção eram práticos, o que permitiu ainda mais a disseminação, produção e produtividade das casas nesse estilo (PIZZO; VASQUES, 2014). Na Figura 6, nota-se a importância do *Wood Frame* em outros países.

Figura 6 - Percentual de utilização do *Wood Frame* na América do Norte.



Fonte: TECVERDE, 2012, p. 12.

2.3. História *Wood Frame* Brasil

Este capítulo apresenta o primeiro período de produção do *Wood Frame* no território brasileiro, que ocorreu entre meados das décadas de 1980 e de 2000.

A tecnologia *Wood Frame* foi trazida para o Brasil pela primeira vez através da colonização alemã, no sul do país, mais precisamente em Blumenau em Santa Catarina, tendo sua maior aderência no sul e sudeste do Brasil, pela produção abundante do pinho, matéria prima utilizada na produção do *Wood Frame*.

Entretanto, em 1905, o governo de Curitiba passou a proibir a construção de edifícios que utilizassem essa tecnologia, o que colaborou para o retrocesso da disseminação deste modelo construtivo (VIANA, 2020). Porém até então, não havia uma norma brasileira sobre a construção *Wood Frame*, o que obrigava os engenheiros a utilizarem normas norte-americanas ou europeias, o que dificultava ainda mais o processo de popularização do sistema entre calculistas, projetistas e engenheiros brasileiros. Porém, a primeira norma para *Wood Frame* surgiu no Brasil em 1997 regida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7190: ANO - Projeto de estruturas de madeira: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT (FARIA et al, 2021).

Contudo, no ano de 2012, a construtora Roberto Ferreira, executou juntamente ao grupo Tecverde um projeto de 280 habitações em Pelotas, Rio



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Grande do Sul, apenas utilizando a tecnologia *Wood Frame*, permitiu que os engenheiros pudessem tirar conclusões mais assertivas sobre o novo método construtivo, concluindo que, a substituição de métodos convencionais pelo *Wood Frame*, é mais viável economicamente que os métodos tradicionais no preço final do edifício, por apresentar uma execução mais rápida, menor quantidade de mão de obra utilizada, além da maior racionalização de materiais gerando menos resíduos, aspecto que torna o *Wood Frame* mais sustentável que a alvenaria. Outro ponto relevante, é a utilização da madeira de reflorestamento que implica a redução do desmatamento de florestas nativas no Brasil além de, também, apresenta maior conforto termoacústico (FARIA et al, 2021)



3. NORMAS E RECOMENDAÇÕES

As normas exercem um papel crítico ao promoverem a regulamentação e standardização dos processos inerentes às etapas de um projeto ou produto. Além disso, desempenham uma função política ao proporcionarem a base para a criação de diretrizes e regulamentos que asseguram a segurança, qualidade e conformidade com os padrões estabelecidos na indústria e na sociedade. Os países que utilizam a tecnologia em *Wood Frame* para casas apresentam diferentes formas de aplicação do sistema.

3.1. Normas Internacionais

O início das orientações técnicas abrangentes e minuciosas para a construção em plataforma *Wood Frame* teve como marco o lançamento do *Wood-frame house construction*, documento nº 73 do U.S. *Department of Agriculture* - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Este manual, divulgado em 1955 pelo FPL - *Forest Products Laboratory* - em colaboração com o USDA, foi desenvolvido pelos pesquisadores O.C. Heyer e L.O. Anderson. Sua notável contribuição técnica pioneira logo chamou a atenção da comunidade, envolvendo construtores e instituições educacionais, e estabeleceu-se como uma fonte de referência fundamental no campo da construção em plataforma *Wood Frame*. (ESPINDOLA, 2017).

O dimensionamento de painéis estruturais no contexto de estruturas *Wood Frame* pode ser realizado seguindo os critérios estabelecidos tanto pela norma americana *WFCM* 2015 quanto pelas normas europeias *DIN1052* (1998) e *EUROCODE 5* Parte 2 (1997). Envolvendo considerar não apenas as especificações técnicas fornecidas por essas normas, mas também fatores como a dinâmica de uma obra limpa e seca, bem como a facilidade de manuseio dos elementos estruturais. O processo de dimensionamento deve ser holístico, levando em consideração não apenas os aspectos técnicos das normas, mas também a praticidade e eficiência na montagem dos componentes da estrutura, bem como a minimização de resíduos e otimização dos recursos utilizados na construção. (MOLINA; CALIL, 2010).

A norma americana *WFCM* 2015, cuja sigla significa *Wood Frame Construction Manual for One- and Two-Family Dwellings*, representa um conjunto de



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

diretrizes técnicas essenciais que regulam a construção de estruturas de madeira, com foco específico em residências unifamiliares e bi familiares. (ESPINDOLA, 2017).

Primeiramente, ela aborda o processo de dimensionamento estrutural, definindo critérios rigorosos para calcular a capacidade de carga e a resistência dos elementos de madeira, incluindo vigas, pilares, lajes e fundações. Isso garante que esses elementos sejam robustos o suficiente para suportar as cargas projetadas.

Outro aspecto crucial é a consideração da resistência a ventos. A norma estabelece requisitos detalhados para projetar as estruturas de madeira de modo a resistir às forças do vento, levando em consideração fatores como a velocidade do vento, a exposição e outros parâmetros locais.

Além disso, a *WFCM 2015* se preocupa com a resistência a cargas sísmicas. Ela fornece orientações específicas para projetar estruturas de madeira que possam resistir a terremotos, considerando as condições sísmicas da região.

A proteção contra incêndio é abordada com rigor. A norma especifica materiais e métodos para proteger a estrutura contra incêndios, visando garantir a segurança dos ocupantes e a integridade da edificação.

Os materiais utilizados na construção em madeira são cuidadosamente analisados, levando em conta suas propriedades de resistência e durabilidade, a fim de garantir que atendam aos padrões de qualidade exigidos. Outro ponto técnico importante é a definição de métodos adequados para ligações e fixações entre os elementos de madeira. Isso é fundamental para manter a integridade estrutural da edificação. A norma também aborda o projeto de fundações, com critérios que asseguram a adequação das fundações em termos de capacidade de carga e estabilidade. (ESPINDOLA, 2017).

Cargas aplicadas, como cargas de uso, cargas de neve, cargas de vento e outras, são cuidadosamente consideradas, e suas influências sobre a estrutura são devidamente calculadas e planejadas.

Por último, mas não menos importante, a *WFCM 2015* estabelece requisitos rigorosos de inspeção durante e após a construção, garantindo que a qualidade e a segurança da estrutura sejam mantidas ao longo do tempo.

Esses aspectos técnicos da norma *WFCM 2015* desempenham um papel fundamental na garantia da segurança e qualidade das construções em madeira nos



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Estados Unidos. É fundamental estar atualizado com as revisões mais recentes dessa norma, uma vez que ela pode ser ajustada para refletir os avanços tecnológicos e as melhores práticas na construção de estruturas de madeira.

3.2. Normas Nacionais

O *Wood Frame* é uma metodologia construtiva que se apoia na madeira como primordial elemento estrutural e de fechamento do edifício. No contexto brasileiro, não existe uma regulamentação específica destinada ao *Wood Frame*. A Norma Brasileira 7190:2022 –Projetos de Estruturas de Madeira –, que versa sobre especificações de dimensões mínimas para componentes estruturais, inclui critérios de dimensionamento, resistência e estabilidade, mas não foi concebida com cálculos direcionados para esse sistema em particular. Contudo, é factível empregar essa norma para avaliar os elementos estruturais individuais do *Wood Frame*.

A ABNT NBR 7190-1:2022 também engloba os princípios e requisitos fundamentais do método dos estados-limite, levando em consideração aspectos como a durabilidade e a exposição a situações de incêndio. Além disso, ela oferece critérios de cálculo que são essenciais para dimensionar e verificar elementos estruturais de madeira, com o objetivo principal de assegurar a segurança estrutural dessas edificações.

3.2.1 Desempenho térmico

A ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais- é uma norma brasileira que estabelece requisitos para o desempenho térmico em edificações habitacionais. Ela tem como objetivo principal garantir que as construções proporcionem um ambiente interno confortável em termos de temperatura, evitando desconfortos causados por temperaturas excessivamente altas ou baixas. A norma considera tanto o desempenho térmico no verão, quando o objetivo é evitar o superaquecimento, quanto no inverno, quando se busca manter o ambiente aquecido. Os principais pontos discutidos sobre o desempenho térmico na ABNT NBR 15575/2021:

Isolamento Térmico: A norma estabelece critérios para o isolamento térmico adequado, especificando valores mínimos de resistência térmica (R) para paredes, coberturas e pisos. Esses valores visam a garantir que a transferência de calor



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

através desses elementos seja limitada, mantendo uma temperatura confortável no interior dos ambientes.

Fator Solar: Considerando o desempenho térmico no verão, a norma define limites para o fator solar das aberturas, janelas, portas, por exemplo, a fim de evitar o excesso de radiação solar e o conseqüente superaquecimento dos ambientes.

Inércia Térmica: a norma reconhece a importância da inércia térmica dos materiais de construção, que ajuda a regular a temperatura interna ao longo do dia. Ela estabelece critérios para a massa térmica dos elementos construtivos.

Conforto Térmico no Inverno: para o inverno, a norma define critérios para garantir o conforto térmico nos ambientes, incluindo a resistência térmica dos elementos construtivos e a eficiência de sistemas de aquecimento.

Paredes Externas: são estabelecidos requisitos para a resistência térmica das paredes externas, levando em consideração as diferentes zonas climáticas do Brasil, com o objetivo de manter a temperatura interna adequada.

Ensaio e Avaliação: A norma também descreve métodos de ensaio para avaliar o desempenho térmico dos materiais e sistemas construtivos, permitindo a verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos.

Ventilação Natural: a norma incentiva o uso de ventilação natural como estratégia para o conforto térmico, fornecendo orientações para o dimensionamento adequado das aberturas e a promoção da circulação de ar.

3.2.2 Funcionabilidade e acessibilidade

O sistema estático deve ser cuidadosamente estabelecido para garantir a segurança estrutural durante a análise dos esforços aplicados e dos deslocamentos na estrutura. A fim de evitar uma degradação prematura das peças, é necessário tomar precauções, tais como a aplicação de tratamento adequado, a promoção da drenagem eficaz da água e a ventilação das superfícies adjacentes e paralelas. Sempre que viável, todas as partes da estrutura devem ser projetadas de maneira que facilitem a inspeção regular.

A ABNT NBR 16611:2017 - Sistemas construtivos em estrutura de madeira - estabelece os critérios e orientações necessários para o desenvolvimento, produção e instalação de sistemas construtivos baseados em estruturas de madeira.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

3.2.3 Conforto tátil e antropo dinâmico

A ABNT NBR 15575:2021, intitulada Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, tem como propósito estabelecer diretrizes mínimas de desempenho que devem ser observadas nas edificações residenciais. Ela aborda elementos relacionados à segurança, conforto e durabilidade das construções.

Conforme citado na NBR 15575:2021, a exposição à água da chuva, à umidade do solo e aquela proveniente do uso das edificações habitacionais deve ser considerada no projeto. Isso se justifica porque a presença de umidade acelera os mecanismos de deterioração e pode resultar na perda das condições de habitabilidade e higiene do ambiente construído.

De acordo com a mesma norma, a edificação habitacional deve incorporar características que satisfaçam os requisitos de desempenho térmico. Esse desempenho térmico deve ser avaliado de acordo com a zona bioclimática estabelecida na ABNT NBR 15220-3, a fim de garantir condições adequadas de conforto térmico de acordo com as condições climáticas específicas de cada região.

Existem outras que também são importantes para o sistema construtivo *Wood Frame*, como a ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações, a ABNT NBR 10821:1989 - Cálculo de estruturas de madeira.

A ABNT NBR 7190-1:2022 categoriza as propriedades da madeira com base em sua estrutura anatômica. Nesse contexto, é importante fazer distinções entre os valores associados à tração e aqueles relacionados à compressão, assim como diferenciar os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos valores correspondentes à direção perpendicular a elas. Além disso, é crucial separar os valores de propriedades de acordo com as diferentes classes de umidade da madeira.

3.3. Madeiras no Sistema *Wood Frame*

A madeira apresenta uma excelente relação resistência/peso como mostrado na Figura 7, ainda outras características favoráveis ao uso em construção, tais como facilidade de fabricação de diversos produtos industrializados e bom isolamento térmico. A madeira, em sua maioria, tem fácil trabalhabilidade e excelente desempenho térmico e acústico, além de elevada relação resistência-peso (MOLINA; CALIL, 2010). Por outro lado, a madeira está sujeita à degradação

biológica por ataque de fungos, por exemplo. e também à ação do fogo (PFEIL,2003). Por meio de tratamento químico, pode-se aumentar a resistência da madeira aos ataques de agentes biológicos e do fogo.

Figura 7- Relação de resistência/peso de materiais da construção civil.

Material	P(t/m ³)	F(MPa)	f/p
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

Fonte: Silva, 2017 p. 17

3.3.1 Classificação das madeiras

As madeiras utilizadas em construção são obtidas de troncos de árvores, classificadas em duas categorias madeiras duras de crescimento lento (Figura 8), e Madeiras Macias, de crescimento rápido (Figura 9), nas quais distinguem-se pela estrutura celular dos troncos e não propriamente pela resistência.

Figura 8 – Madeira dura, Ipê.



Fonte: ANZOLIN, 2019 p. 2

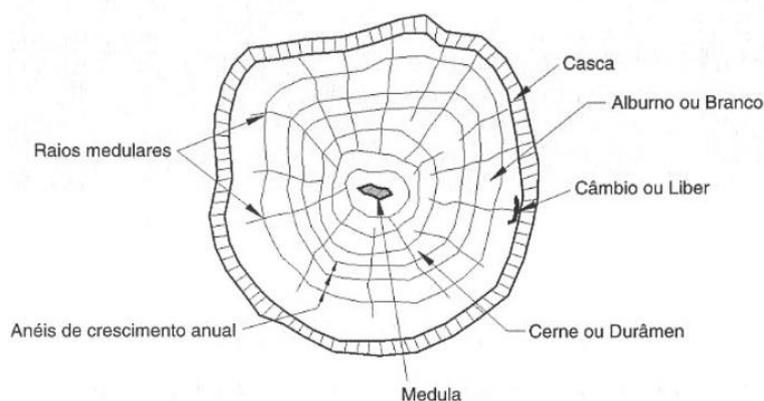
Figura 9– Madeira mole, pinho do Paraná



Fonte: MADEPIATTI, 2020 p. 2.

As árvores produtoras de madeira de construção são do tipo exogênico, que crescem pela adição de camadas externas como demonstra a Figura 10 possuindo as seguintes camadas:

Figura 10– Camadas de um tronco.



Fonte: PFEIL, 2003, p.18.

A Casca consiste na proteção externa da árvore, formada por uma camada externa morta, de espessura variável com a idade e as espécies, e uma fina camada interna, de tecido vivo e macio, que conduz o alimento preparado nas folhas para as partes em crescimento; já alburno ou branco camada formada por células vivas que



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

conduzem a seiva das raízes para as folhas; tem espessura variável conforme a espécie, geralmente de 3 a 5 cm (PFEIL, 2003).

O cerne ou durâmen com o crescimento, as células vivas do alburno tornam-se inativas e constituem o cerne, de coloração mais escura, passando a ter apenas função de sustentar o tronco; e a medula tecido macio, em torno do qual se verifica o primeiro crescimento da madeira, nos ramos novos.

As madeiras de construção devem ser retiradas de preferência do cerne, a madeira do alburno é mais higroscópica que a do cerne, sendo mais sensível do que esta última à decomposição por fungos, mas aceita melhor a penetração por agentes protetores, como alcatrão e certos sais minerais.

Os troncos de árvores crescem pela adição de anéis em volta da medula; os anéis são formados por divisão de células em uma camada microscópica situada sob a casca, denominada câmbio ou líber, que também produz células da casca.

3.3.2 Vida Útil Madeira

A garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional só será obtida a partir de uma adequada manutenção, que por sua vez deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão, que identifique, por meio de vistorias com inspeções periódicas preventivas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação (VITÓRIO, 2005).

Um programa adequado de metodologia de inspeção para avaliação do potencial de risco de biodeterioração, em detecção de pontos deficientes de uma determinada estrutura, associados às manutenções periódicas preventivas e regulares, se faz necessária e tende a proporcionar uma relação custo x benefício bastante compensatória (BRITO, 2014).

3.3.3 Deterioração da Madeira

A madeira está sujeita à deterioração por diversas origens quais como ataque biológico, fungos, cupins, moluscos e crustáceos marinhos são exemplos de agentes biológicos que se instalam na madeira para se alimentar de seus produtos (WANGAARD, 1979) e ação do fogo.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

A vulnerabilidade da madeira de construção ao ataque biológico é influenciada por vários fatores intrínsecos e ambientais. A posição no tronco de onde a madeira é extraída desempenha um papel crucial; o alburno, a parte mais externa, tende a ser mais suscetível à biodegradação em comparação ao cerne. Além disso, a espécie da madeira também desempenha um papel significativo, já que algumas espécies demonstram maior resistência à biodeterioração (WANGAARD, 1979).

As condições ambientais exercem um papel determinante, incluindo ciclos de reumidificação, exposição ao solo e à água, independentemente de ser doce ou salgada. Esses elementos interagem de maneira complexa para influenciar o grau de vulnerabilidade da madeira aos agentes biológicos, criando uma matriz de fatores que moldam o processo de degradação

3.4. Segurança da edificação em *Wood Frame* contra incêndio

Por ser combustível, a madeira é frequentemente considerada um material de pequena resistência ao fogo. Mas, quando comparada outros materiais, também utilizados em construção como, por exemplo, o concreto e o aço, a madeira quando adequadamente projetadas e construídas apresenta um excelente comportamento sob ação do fogo. As peças robustas de madeira possuem excelente resistência ao fogo, pois se oxidam lentamente devido à baixa condutividade de calor.

Segundo Pinto (2001), elementos estruturais de madeira quando expostos ao fogo carbonizam primeiramente seu perímetro externo, guardando o núcleo do material íntegro - com propriedades mecânicas inalteradas - por longo período de tempo. A Figura 11 mostra a deterioração da madeira quando submetida a um ambiente de ignição, em que a camada superficial sofre carbonização, transformando-se em carvão. Em sequência, observa-se a região adjacente de madeira aquecida, seguida pelo núcleo da madeira que permanece resiliente às altas temperaturas geradas pela combustão.

Figura 11 – Deterioração da Madeira



Fonte: PINTO, 2001. p.1.

No entanto peças esbeltas de madeira e as peças metálicas das ligações requerem proteção contra ação de fogo, que através da aplicação de um processo de tratamento químico, é viável elevar a resistência da madeira frente às agressões provenientes de agentes biológicos e do fogo. De maneira geral, tal procedimento engloba a impregnação da madeira com substâncias preservativas químicas, a exemplo do creosoto, bem como de retardantes de fogo (PINTO, 2001).

Em termos gerais, a ênfase predominante nos códigos normativos no que concerne a incêndios não se concentra prioritariamente na proteção do patrimônio, mas sim na garantia de que a edificação mantenha sua capacidade resistente por um intervalo temporal suficiente, assegurando, assim, a evacuação integral das pessoas. A essência desse enfoque reside na salvaguarda da integridade física dos indivíduos. A consideração das perdas patrimoniais pode ser adequadamente administrada por meio de acordos contratuais e apólices de seguro.

No Brasil, os requisitos de segurança contra incêndio a serem atendidos nos projetos de edificações são, normalmente, estabelecidos no âmbito estadual. A ABNT NBR 15575: 2013 - Norma de Desempenho de Edificações é um documento que estabelece os requisitos de desempenho para promover a segurança e conforto de edificações residenciais. Uma destas especificações diz respeito à segurança contra o Incêndio, onde são estabelecidos critérios que visam dificultar o princípio de incêndio e a sua propagação, a resistência ao fogo do sistema construtivo e reação ao fogo dos materiais utilizados.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Estudos mais abrangentes sobre o tema (BRITO, 2014) indicam que elementos estruturais de madeira quando expostos ao fogo, carbonizam primeiramente o seu perímetro exterior, ficando o seu interior praticamente intacto. Porém, é também importante salientar que, para promover a segurança patrimonial e manter a garantia do imóvel vistoriado pelos bombeiros, o morador também deve seguir as orientações descritas, tanto no Manual do Proprietário - Uso, Operação e Manutenção do Imóvel - quanto nas especificações das normas técnicas da ABNT e INMETRO.



4. FABRICAÇÃO

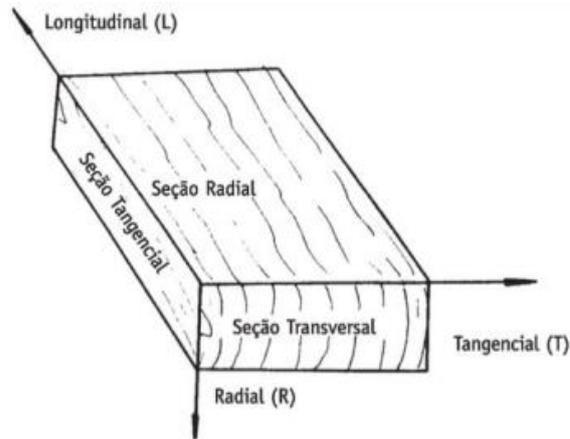
O processo de fabricação e logística das peças é crucial para garantir a qualidade e a durabilidade do sistema construtivo. Além disso, a madeira utilizada deve ser proveniente de fontes sustentáveis para garantir a preservação das florestas e do meio ambiente. Transporte, montagem, detalhes. No sistema *Wood Frame*, seus elementos construtivos, como painéis de parede, de piso e de cobertura, podem ser produzidos com diferentes graus de industrialização, na fábrica, no canteiro de obras ou parcialmente em ambos os locais. (ESPINDOLA, 2010).

4.1. Madeira

A principal matéria-prima para o *Wood Frame* é a madeira. A madeira utilizada geralmente é de pinheiro, abeto ou outras árvores de crescimento rápido, devido à sua disponibilidade e custo relativamente baixo (MOTA, 2020). As peças de madeira são geralmente fabricadas em fábricas especializadas, onde o processo pode ser mais eficiente e controlado. Isso garante a qualidade e a precisão das peças.

As árvores são cortadas em florestas destinadas para este fim, e a madeira é processada em serrarias; sua seleção é uma etapa crítica. A madeira utilizada deve ter a qualidade e a resistência adequadas para suportar as cargas estruturais (VALLE, MORAES, SZUCS, TEREZO, 2012). A partir disto, a madeira é influenciada pela disposição das fibras, ou do tipo de direção da solicitação, sendo de suma importância definir os eixos de referência, assim como demonstrado na Figura 12

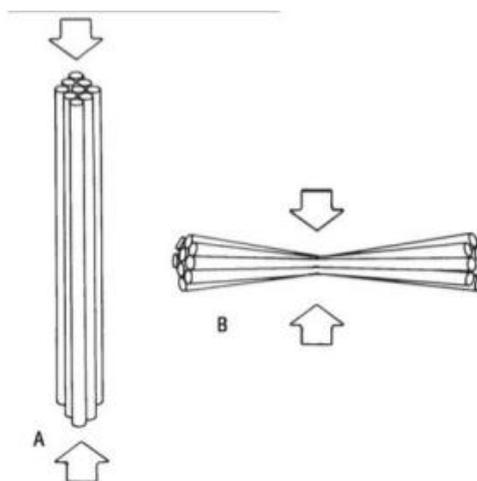
Figura 12- Sistema de orientação para definição das propriedades da madeira



Fonte: Silva, 2017 p.20

Com base nisso, ocorre uma grande resistência da madeira no momento em que há uma força paralela as fibras. Porém, quando a mesma força é aplicada perpendicularmente, a resistência é menor, gerando esmagamento na peça, assim como demonstrado na Figura 13, exemplificando a resistência a compressão.

Figura 13 - Resistencia a compressão

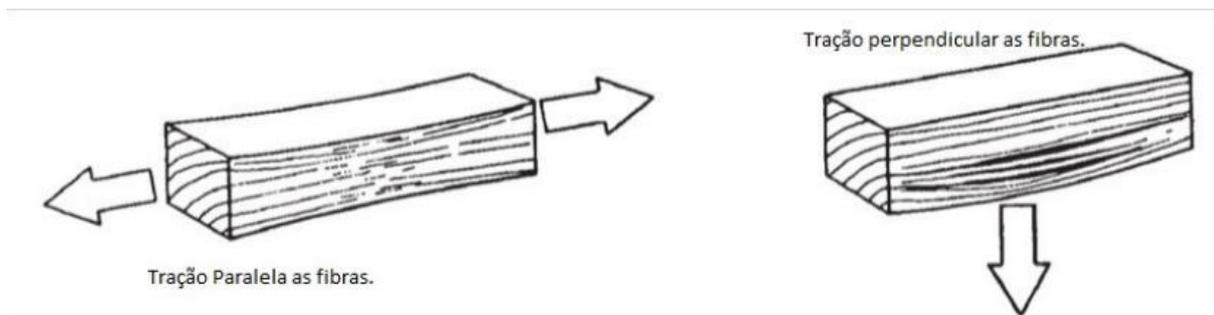


Fonte: Silva, 2017 p.20

Já na resistência a tração, a ruptura por tração paralela pode ocorrer por deslizamento entre as fibras. Em ambos os modos de ruptura, a madeira apresenta baixos valores de deformação e elevados valores de resistência. Já na ruptura por

tração normal, a madeira apresenta baixos valores de resistência, pois os esforços atuam na direção perpendicular às fibras como demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Resistencia a tração



Fonte: Silva, 2017 p.21

Além disso, deve-se considerar a densidade da madeira, o teor de umidade, a retidão e a ausência de nós e rachaduras; após escolha da madeira o processo segue para a secagem.

A madeira deve ser seca para remover a umidade, tornando-a mais estável e durável é um processo controlado em que a umidade é gradualmente reduzida para o nível adequado, geralmente abaixo de 20% (LASEMA, 2021). A secagem controlada é importante para evitar empenamentos, torções e rachaduras nas peças.

Posteriormente a secagem, a madeira é cortada e moldada nas peças necessárias para a estrutura do *Wood Frame*, essas peças são usinadas com precisão para atender às especificações do projeto, incluindo montantes -vertical -, vigas, caibros, painéis de parede, e outros componentes, com cortes precisos, chanfros e encaixes para garantir que as peças se ajustem perfeitamente durante a montagem. As peças são submetidas a um rigoroso controle de qualidade para garantir que atendam aos padrões de resistência, retidão e dimensionamento especificados no projeto estrutural.

O processo de produção finaliza-se com o tratamento de produtos químicos para resistir a insetos, fungos e apodrecimento, especialmente quando usada em áreas sujeitas a esses problemas.

As peças de madeira são embaladas de forma a proteger contra danos durante o transporte, utilizando embalagens de plástico, papelão ou até mesmo estruturas de madeira para proteger as arestas e extremidades das peças, e

rotuladas de acordo com as especificações do projeto e o tipo de peça, assim facilitando o transporte e a identificação no local de construção e a montagem correta das peças, construção como na Figura 15.

Figura 15 – Peças de *Wood Frame* embaladas para transporte.



Fonte: TECVERDE, 2020.

As peças são transportadas para o local de construção, seja por caminhões, trens ou navios, dependendo da localização e da escala do projeto (TECVERDE,2022).

A montagem no local é realizada por equipes de construção especializadas. As peças são instaladas de acordo com o projeto estrutural, garantindo que todas as conexões sejam seguras e estáveis. Após a montagem, são realizados testes e inspeções para garantir que a estrutura atenda aos padrões de segurança.

4.2. Isolamento Térmico e Acústico

Isolantes térmicos, como lã de vidro ou lã de rocha, e isolantes acústicos são essenciais para melhorar o conforto interno e a eficiência energética da construção. Eles são instalados entre as estruturas de madeira.

A lã de vidro é fabricada a partir de areia e reciclados de vidro; é um componente obtido através da sílica e sódio juntados por resinas sintéticas em alto



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

forno (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006). As fibras são aglomeradas e unidas para formar mantas, rolos ou painéis.

A lã de rocha é produzida a partir de rochas vulcânicas, como basalto, que são aglomerados juntamente com resina sintética, é um material não cancerígeno; quimicamente neutro e resistente a vibrações (FERNANDES, 2018). Essas fibras podem ser ligadas com adesivos e moldadas em mantas ou painéis.

As mantas, rolos ou painéis de isolamento são embalados em pacotes resistentes e rotulados com informações sobre o tipo de isolante, densidade e classificação de resistência térmica. Esses produtos são transportados para distribuidores e lojas de materiais de construção, onde podem ser adquiridos por empreiteiros e construtores.

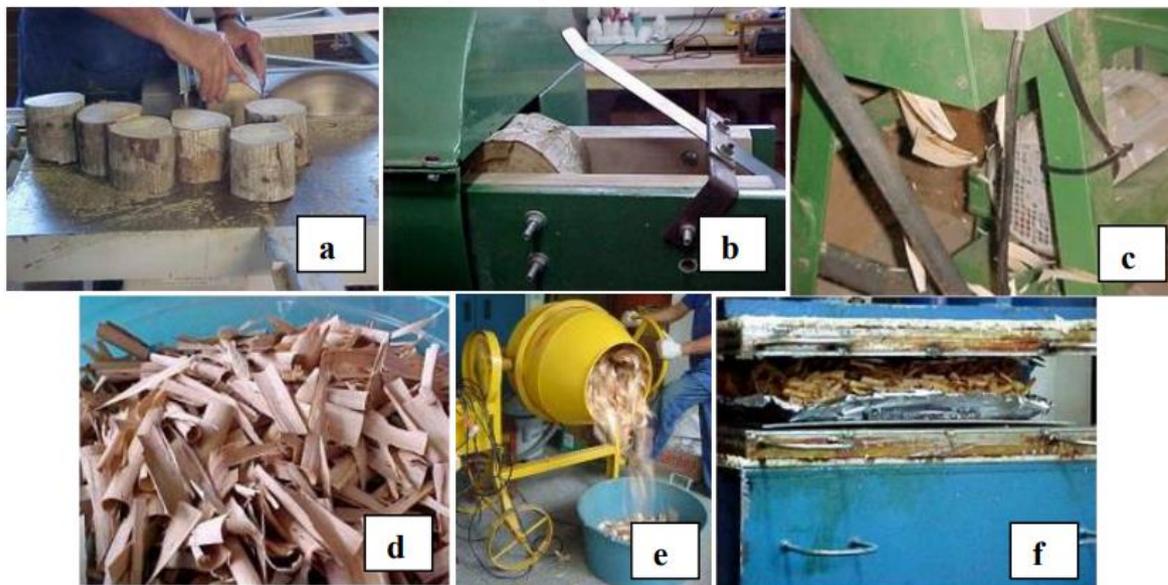
4.3. Placas OSB - *Oriented Strand Board*

O OSB é um painel estrutural, produzido a partir de partículas - lascas ou *strands* - de madeira orientadas em diferentes camadas, cuja camada interna pode estar disposta aleatória ou perpendicularmente às camadas externas, que são prensadas e coladas com resinas adesivas. O OSB integra um segmento de destacado crescimento no rol de produtos derivados de madeira (ALBUQUERQUE; MENDES, 2000).

O OSB possui resistência elevada tanto quanto a dos compensados estruturais, aos quais substituem perfeitamente, além de menor custo devido ao emprego de madeira de pequena dimensão, geralmente proveniente de reflorestamento. Além disso, esse painel utiliza 96% da madeira contra 56% do compensado, o que permite otimizar o custo do produto, tornando-o ecologicamente mais eficiente (EISFELD; BERGER, 2012).

No processo de fabricação das placas OSB, as toras das madeiras são cortadas, em seguida, são obtidas as partículas *strands* em um gerador de partículas. Essas partículas são selecionadas e encoladas. Em seguida, são depositadas em um separador de partículas para formar o colchão, submetido à prensagem. (NASCIMENTO; BERTOLINI, PANZERA, CHRISTOFORO, ROCCO, 2015.). O processo de manufatura dos painéis OSB é apresentado pela Figura 16.

Figura 16-Manufatura dos painéis OSB: (a) corte das toras; (b) e (c) geração das partículas; (d) “strands”; (e) encolagem; e (f) prensagem a quente.



Fonte: NASCIMENTO; BERTOLINI, PANZERA, CHRISTOFORO, ROCCO, 2015. p.4

As placas são cortadas em tamanhos e espessuras específicos para atender às necessidades do projeto. Alguns painéis de parede podem ser pré-fabricados abertos ou fechados. Na produção em fábrica, os painéis abertos têm o entramado em madeira fechado com a chapa estrutural OSB ou compensado em uma das suas superfícies, interna ou externa. (ESPINDOLA,2008).

No canteiro, este painel é finalizado com membrana hidrófuga, material isolante termoacústico, chapa de gesso acartonado, acabamentos finais interno e externo e instalações elétrica e hidráulica. Em contrapartida, o painel fechado é totalmente executado em fábrica, sendo transportado para o canteiro com as camadas internas e externas pré-fabricadas. As placas OSB são embaladas e paletizadas para proteção durante o transporte. Elas são distribuídas para revendedores ou diretamente para os canteiros de obras, onde são armazenadas em condições secas (NASCIMENTO; BERTOLINI, PANZERA, CHRISTOFORO, ROCCO, 2015).

4.4. Revestimentos Externos

Os revestimentos externos podem ser fabricados em vários materiais, como fibrocimento, madeira, PVC, metal, por exemplo. Sobre o OSB é aplicada uma



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

membrana impermeabilizante, que garante a estanquidade e a adequada ventilação das paredes, permitindo a saída da humidade interna das paredes e protegendo-as contra a humidade externa. (CASEMA, 2023). A fabricação de cada tipo de revestimento varia, mas geralmente envolve a conformação, corte e acabamento dos materiais.

Os revestimentos externos são embalados e rotulados de acordo com o material e o padrão de acabamento. São entregues diretamente no canteiro de obras ou em depósitos de materiais de construção.

4.5. Sistemas de Telhado

Estruturas de suporte, como ripas e caibros, são fabricadas a partir do corte das toras de madeira em peças cilíndricas, quadrangulares ou retangulares, gerando a madeira serrada. O processo de fabricação e logística é o mesmo que os das peças de madeira para a estrutura (TECVERDE,2022).

As telhas podem ser feitas de materiais como cerâmica, concreto, metal ou asfalto. Telhas são empilhadas em paletes e embaladas com cuidado para evitar quebras durante o transporte.

4.6. Janelas e Portas

Janelas e portas são fabricadas em fábricas especializadas, para processo de fabricação de esquadrias com qualidade, um dos principais fatores é dispor de madeira seca em quantidade suficiente. É preciso que as madeiras estejam com os níveis de umidade bem baixos, indicados como pontos de secagem. (SILVA,2007).

Conforme o Silva (2007), o processo de fabricação começa na mesa de corte e fresamentos dos perfis, seguindo para o tratamento antisséptico de micro-organismos a fim de evitar problemas de oxidação do aço, eletrólise do alumínio e deformação do PVC pelo excesso de calor, ataque de insetos e micro-organismos.

Ainda seguindo as especificações de Silva (2007), após o tratamento o processo segue para o acabamento dos perfis em que se desenha efetivamente o perfil a ser utilizado nos caixilhos, a fase de montagem e colagem de todo o material.

São entregues diretamente no canteiro de obras ou em depósitos de materiais. os locais de armazenamento, os caixilhos de madeira prontos devem ser posicionados na vertical, em um piso nivelado e protegidos em ambientes que



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

estejam resguardados das condições climáticas adversas. É importante evitar qualquer proximidade com fontes de calor e garantir que sejam mantidos em pilhas separadas do solo.

4.7. Sistemas Elétricos e Hidráulicos

Os componentes elétricos, como fios, cabos, interruptores e tomadas, são fabricados em instalações especializadas. Os sistemas hidráulicos envolvem tubos, conexões e dispositivos que também são fabricados em fábricas especializadas. Esses componentes são distribuídos por atacadistas de materiais elétricos e hidráulicos para os canteiros de obras. São embalados em caixas ou pacotes para facilitar o transporte e a instalação.



5. PROCESSO CONSTRUTIVO

5.1. Planejamento da construção

Antes de iniciar qualquer trabalho *in loco* no terreno destinado à construção, tem-se a etapa de planejamento, que se baseia no estudo do solo em questão, elaboração de cronograma físico-financeiro, além do desenvolvimento de projetos como arquitetônico, estrutural, elétrico e hidráulico (ZAPARTE, 2014).

Conforme Azeredo (1997), a primeira parte de uma construção, é a elaboração do anteprojeto, que contém informações importantes sobre a construção: o uso permitido do edifício, que determina para qual finalidade será utilizado o mesmo; densidade populacional, que mostra a área construída prevista; o gabarito permitido que mostra a altura do edifício, recuos, coeficientes como ocupação e aproveitamento de lote ; e por fim, os elementos geográficos do local, que mostrem latitude, meridianos, regime de ventos e regime pluvial.

Nesta etapa de anteprojeto, são feitos também projetos chamados de projetos básicos da construção, em que são apresentadas as plantas baixas de arquitetura, cortes esquemáticos e elevações, porém sem muitos detalhes e definições, apresentados apenas no projeto executivo.

Ainda de acordo com Azeredo (1997), depois da etapa do anteprojeto, tem-se o projeto completo, composto por parte gráfica e parte escrita.

A parte gráfica é composta pelas plantas baixas, de cobertura, de situação e de locação. Em todas essas situações, são apresentados projetos de estrutura e superestrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias, detalhes arquitetônicos e fachada. Na fase de produção destas tipologias de projetos, os mesmos já passam a ser projetos executivos, compostos por mais detalhes e definições acerca da construção (ZAPARTE, 2014).

Já a parte escrita é composta por especificações, que podem ser de serviços, material ou até mesmo empresas a serem contratadas pela obra ou construtora responsável, a pedido do cliente; memorial de construção com detalhes arquitetônicos, soluções para construção que deverão ser adotadas, além do orçamento preliminar, que explicita os custos parciais e totais da obra, quantitativo de material e preços unitários.

Além disso, faz-se o exame de sondagem a percussão, mais conhecida como SPT, que é um ensaio que determina o tipo de solo presente no terreno, resistência



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

do mesmo e o nível do lençol freático, para assim, o projetista estrutural começar a desenvolver o projeto de fundação, se adequando a melhor tipologia para o terreno em questão, orçamento e cargas presentes no projeto final baseado em um projeto básico.

Com todos os projetos executivos em mãos, o engenheiro ou a construtora responsável pela obra, tem como desafio de criar o cronograma da obra e refinar os orçamentos, de forma a otimizar o tempo de obra, analisar e determinar o caminho crítico da construção, prever eventuais problemas no momento da construção, como por exemplo incompatibilização de projetos (KESIK, 1997).

5.2. Processo construtivo

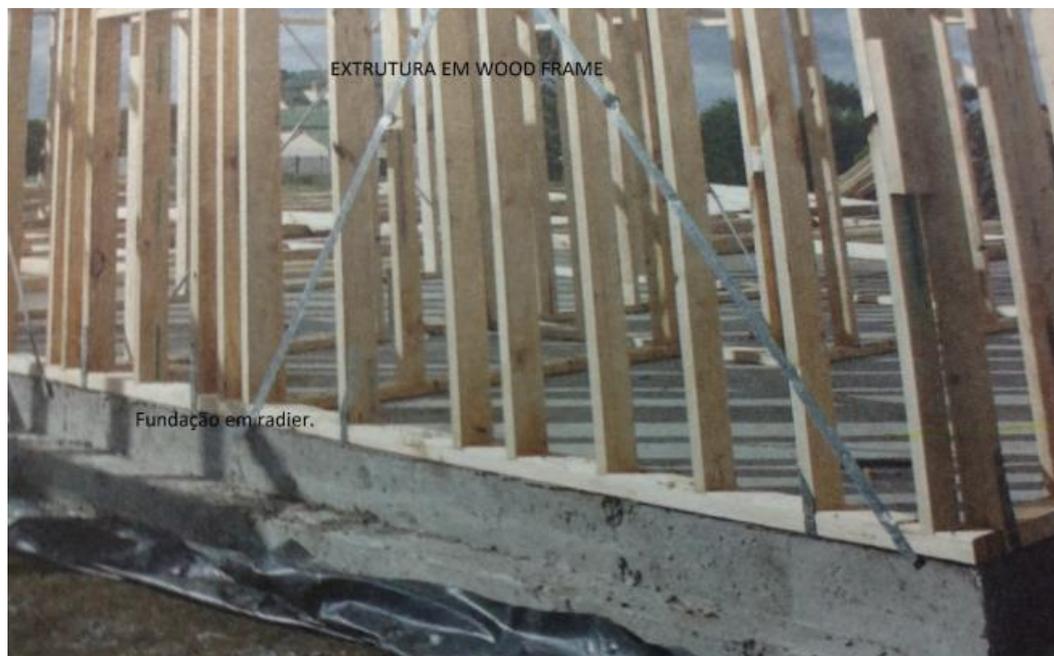
5.2.1. Fundações

A primeira etapa de uma obra é a fundação que é determinada a partir das cargas da construção e tipo de solo do terreno. Para uma construção realizada com sistema *Wood Frame*, é possível aplicar qualquer tipo de fundação, desde que o terreno tenha condições de trabalhar na situação selecionada; isso porque o sistema *Wood Frame* caracteriza-se por ser uma estrutura leve e mais estável que construções de alvenaria, denominadas estruturas hiperestáticas. Na maioria dos casos, utiliza-se fundação radier ou sapata corrida, conhecidas como fundações diretas que transmitem a carga da estrutura diretamente pela fundação (AZEREDO, 1997).

Para a execução da fundação, ocorre primeiramente a incorporação um solo menos permeável na camada superior e um aterro granular na camada inferior. Também é necessário regularizar o solo e aplicar primer, manta asfáltica e filme de polietileno, sob a fundação para impedir que ocorra infiltração. Além disso, uma manta geotêxtil e um tubo com pequenas perfurações podem ser instalados dentro do aterro para facilitar a drenagem do referido solo (APA,2016).

A fundação radier normalmente é composta por concreto armado, as instalações elétricas e hidráulicas já podem ser pré-instaladas na laje, como se vê na Figura17, podendo ser executado um contrapiso por cima da laje ou aplicar o revestimento direto no radier.

Figura 17 – Estrutura *Wood Frame* sobre fundação *radier*.



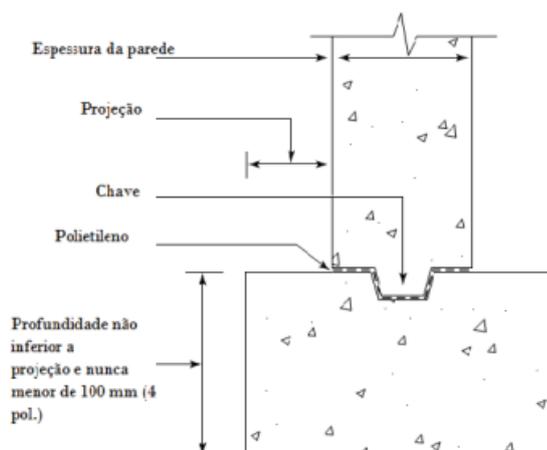
Fonte: Adaptado de Duart et al, 2013, p.75.

Já a sapata corrida, também é executada com concreto armado, porém é executada a laje por cima para dar início na estrutura.

Já em outros países como no Canadá, onde esse sistema construtivo é mais difundido e pelo fato de possuir um clima mais frio, a fundação para *Wood Frame* é dividida em dois grupos: *basement wall* e *crawl space*.

O *basement wall* é um tipo de fundação que se baseia na construção de blocos e paredes subterrâneas, com aproximadamente 60 centímetros abaixo do nível do solo, que serve como isolante térmico para as casas e mantém a madeira mais afastada possível do solo, evitando contato com água (ZAPARTE, 2014). Na Figura 18, pode-se observar ver um corte esquemático da fundação *basement wall*.

Figura 18-Corte esquemático da fundação *basement wall*.

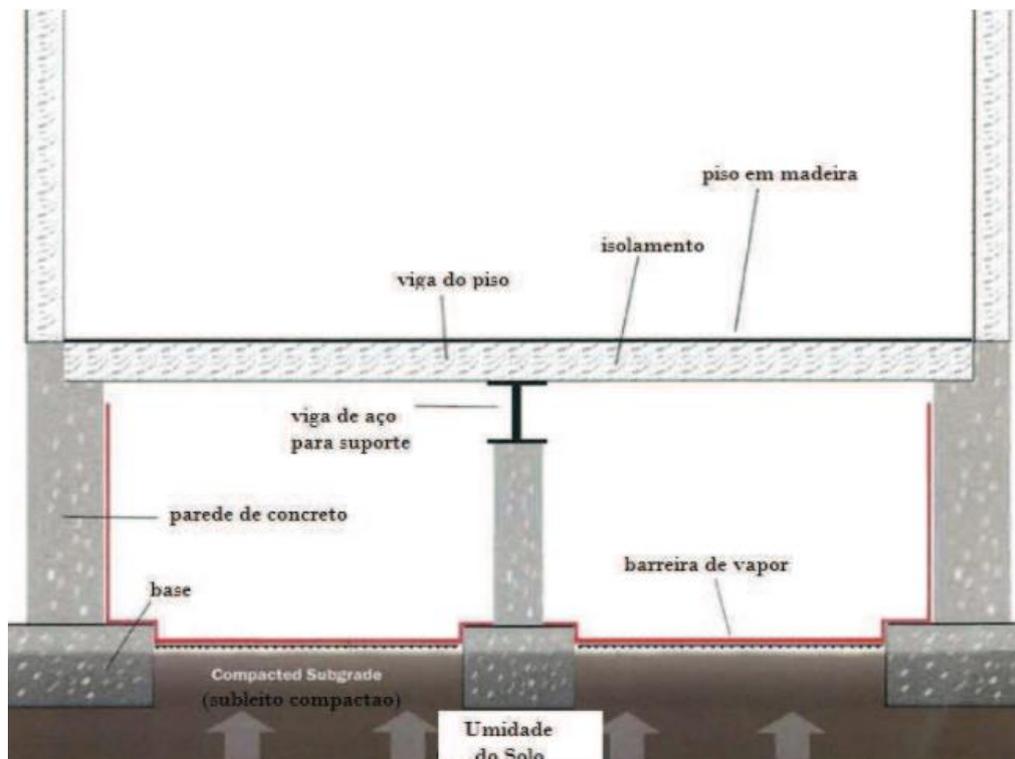


Fonte: Adaptado de Zaparte, 2014, p.41.

Já o *crawl space* é formado por pilares de 1,5 metros de altura em relação ao nível do solo, o que permite um espaço entre o mesmo e o assoalho da casa.

Alguns destes tipos de fundação utilizam blocos de concreto, e precisam ter espaço para ventilação para que a construção não sofra com umidade vinda só solo, por esse motivo, é construída uma barreira de vapor, para evitar que estrague a madeira, assim como exemplificado na Figura 19 (ZAPARTE, 2014).

Figura 19 - Fundação *crawl space*.



Fonte: Adaptado de Zaparte, 2014, p.42.

5.2.2. Paredes estruturais

Segundo Silva (2017), o conjunto estrutural da edificação de *Wood Frame* é composto por perfis de madeira e chapas de madeiras estruturais como na Figura 20. Essas chapas são compostas por:

Perfis leves de madeira como montantes verticais, bitolas em geral de 2" x 4" (38 mm x 90 mm), 2" x 6" (38 mm x 140 mm) e 2" x 12" (38 mm x 290 mm), espaçados entre si a cada 40 cm ou 60 cm.;

Perfis leves de madeira como guias inferiores e superiores, bitolas em geral de 2" x 4" (38 mm x 90 mm), 2" x 6" (38 mm x 140 mm) e 2" x 12" (38 mm x 290 mm); Chapas estruturais de OSB, com espessura usual de 11,1 mm, como contra ventamento da estrutura reticulada;

Painéis de pisos compostos por chapas estruturais de OSB, com espessura usual de 18,3 mm, fixadas em vigas de madeira tipo I, espaçadas a cada 40 cm ou 60 cm. (SILVA, 2010, p.34)

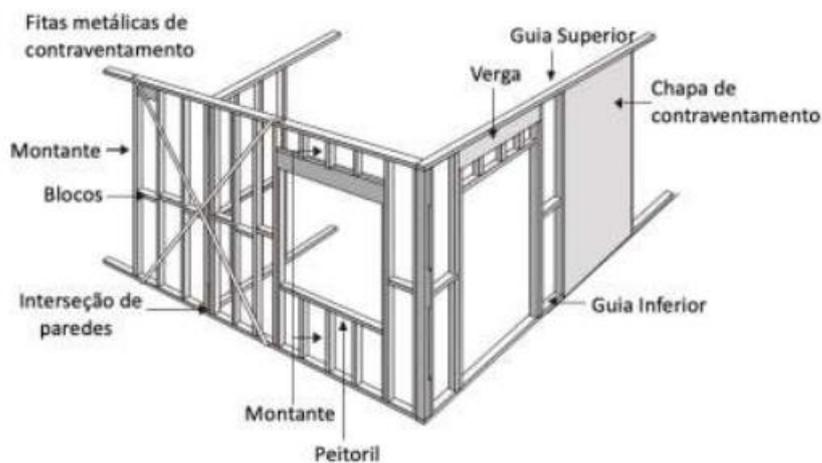
Figura 20 - Chapa de OSB com 11,1 mm.



Fonte: Adaptado de Zaparte, 2014, p.37.

Segundo Fernando Bolsoni (2021) as paredes estruturais de uma edificação de *Wood Frame* são divididas da seguinte maneira, como mostra na Figura21.

Figura 21- Elementos de uma parede estrutural de *Wood Frame*.



Fonte: Fernando Bolsoni, 2021, p.49.

Seguindo a Figura 21, as guias superiores são responsáveis por firmar os montantes, e por absorver as cargas do telhado, como mostra a Figura 22.

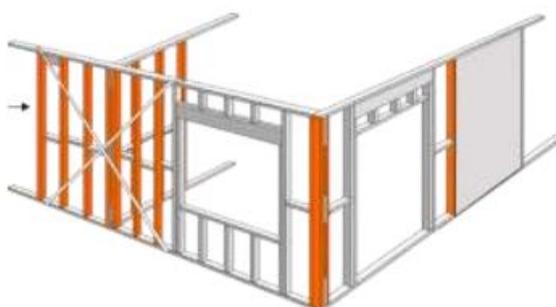
Figura 22- Indicação da Guia superior.



Fonte: Bolsoni, 2021, p.50.

Os montantes servem como pilares, absorvem as cargas da guia superior, assim como mostra a Figura 23.

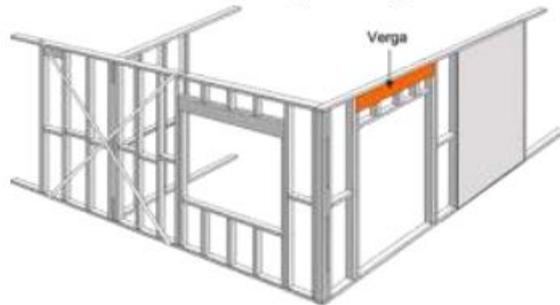
Figura 23- Indicação do montante.



Fonte: Bolsoni, 2021, p.51.

Já as vergas, Figura 24, se encontram em cima de portas e janelas, e são responsáveis por transferir as cargas para os montantes das janelas.

Figura 24-Indicação da verga.



Fonte: Bolsoni, 2021, p.51.

Os blocos são lamelas de madeira maciça que servem para dar resistência aos montantes, exemplificado na Figura 25.

Figura 25 - Indicação dos blocos.



Fonte: Bolsoni, 2021, p.52.

E por fim, as guias inferiores servem para transferir as cargas, Figura 26.

Figura 26 - Indicação das guias inferiores.



Fonte: Bolsoni , 2021, p.52.

Ainda de acordo com Silva (2017), estas ligações de painéis e perfis de madeira são realizadas por meio de pregos e parafusos; sendo estes elementos metálicos, obrigatoriamente devem ser galvanizados para terem maior longevidade. Neste sistema, utiliza-se um tipo específico de prego chamado ardox, ilustrado na Figura 27 ou do tipo anelado, que dificultam o arrancamento principalmente de coníferas, espécies de madeiras que são mais macias (ZAPARTE, 2014).

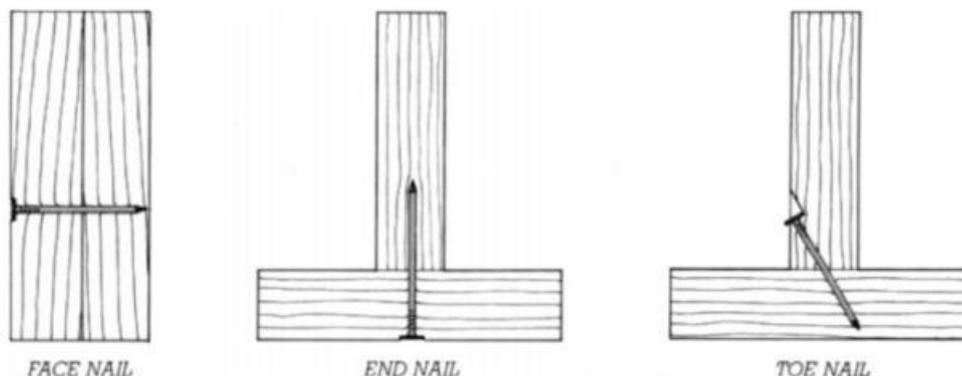
Figura 27 – Pregos do tipo ardox.



Fonte: Leroy Merlin, 2023, p1.

Para a fixação de painéis, contravergas, montantes do sistema *Wood Frame*, classificam-se três tipos de pregação: *toe nail* que é a pregação em ângulo; quando esta é impossibilitada de fazer uma aplicação de pregação do tipo *end nail*, muito utilizada nas coberturas com tesouras; e a *face nail* utilizada para pregar as camadas de montantes, placas e vergas; ver Figura 28 (SILVA, 2017).

Figura 28– Meios de pregação no sistema *Wood Frame*.

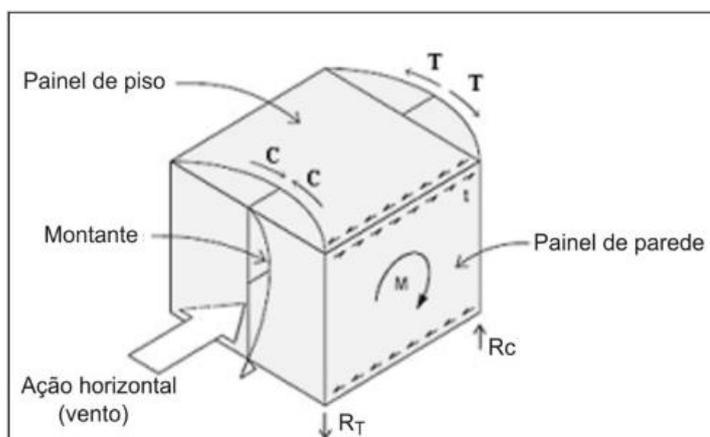


Fonte: Silva , 2017, p.5.

Segundo Molina; Calil Junior (2010), as paredes de *Wood Frame* são capazes de resistir a esforços dos ventos, sendo responsável pelo contraventamento do edifício como mostra a Figura 29:

Com os esforços horizontais, a parede frontal ao vento é solicitada perpendicularmente ao seu plano, resultando em esforços de flexão nos montantes e chapas de OSB. Essa parede transfere os esforços para os pisos superior e inferior que receberão esses esforços como carga distribuídas. Admite-se neste caso por simplificação, o piso como sendo uma viga horizontal submetida ao esforço de flexão transferido pela parede. A cortante que surge nesta viga deve ser resistida pelo conjunto formado pelas chapas de OSB e as vigas que compõem o piso. (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010, p.149)

Figura 29- Comportamento estrutural do *Wood Frame* sob a ação do vento.



Fonte: MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010, p.149.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

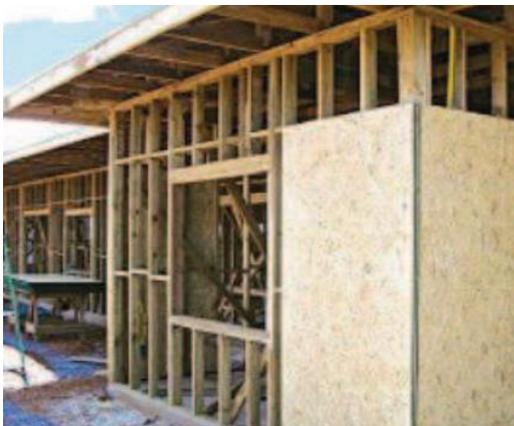
O sistema é composto por basicamente paredes portantes, em que a estrutura trava os apoios e faz o contraventamento horizontal da estrutura. Esses painéis são postos no radier ou plataforma, e são levantados sucessivamente até atingir a altura necessária.

As normas previstas para paredes na Diretriz SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais - 005 – Revisão 02,2020, diz que estas paredes portantes são compostas por montantes e chapas de OSB - *Oriented Strand Board*- Primeiramente, estes montantes são substitutos dos pilares em construções convencionais de concreto armado. Estes montantes podem ser de 38 x 89 milímetros ou 38 x 140 milímetros, espaçados entre si com 300, 400 ou 600 milímetros, dependendo da carga ou da espessura da parede.

Para compor a função de contraventamento do edifício, no Brasil, utiliza-se com mais frequência uma placa de chapa cimentícia pelo lado externo e de gesso cartonado no lado interno, porém nos últimos anos, essa realidade tem mudado cada vez mais e passou-se a utilizar as chapas OSB - *Oriented Strand Board*- no lado externo da edificação, como mostra a Figura 30 e 31, pois a mesma funciona como um diafragma rígido no plano vertical, sendo responsável por resistir horizontais, evitando perda estabilidade e deformações. De acordo com a norma European Standard - Norma Portuguesa - NPEM300:2002 definem-se quatro tipos de OSB de acordo com sua resistência mecânica e suas propriedades físicas como por exemplo:

1. OSB/1 – placa para uso geral e interno;
2. OSB/2 – placa para fins estruturais em ambiente seco;
3. OSB/3 – placa para fins estruturais em áreas molhadas;
4. OSB/4 – placas para fins estruturais em ambiente úmido com mais desempenho.

Figura 30– Casa no sistema *Wood Frame* com fechamento externo em chapas OSB.



Fonte: Thécne, 2011, p.1.

Figura 31– Placa de OSB.

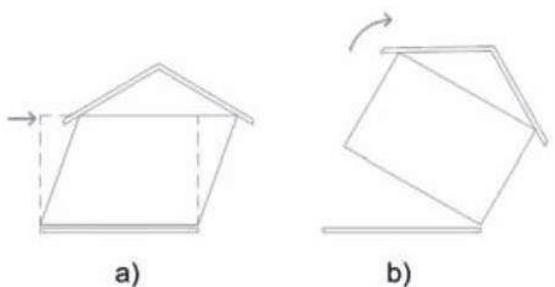


Fonte: Leroy Merlin, 2023, p.1.

5.2.3. Ancoragem

Devido ao vento, toda a superestrutura deve ser firmemente ancorada a fundação, a fim de evitar movimento como tombamento, que é quando ocorre a rotação da estrutura (Figura 32 (a), causando assimetria, ou o movimento de translação, que causa o deslocamento lateral do edifício (Figura 32 (b) (SCARFF, 1996).

Figura 32– Efeitos do vento na superestrutura a) translação e b) tombamento.



Fonte: Scarff, 1996, p.25.

A escolha do tipo de ancoragem a ser executada depende do tipo de fundação utilizada e quantidade de carga solicitante que a estrutura deverá suportar, condições climáticas e ocorrência de abalos sísmicos. A partir disto, a definição do tipo de ancoragem será feita a partir do dimensionamento estrutural (ZAPARTE, 2014).

Para fazer a ancoragem entre fundação e painel, as barras de ancoragem obrigatoriamente deverão ser fixadas na fundação com o concreto ainda não enrijecido, ou seja, no momento da concretagem (SCARFF, 1996) como mostra a Figura 33.

Figura 33– Ancoragem em placa metálica fixada na placa de OSB.



Fonte: Silva, 2017, p.7.

5.2.4. Lajes

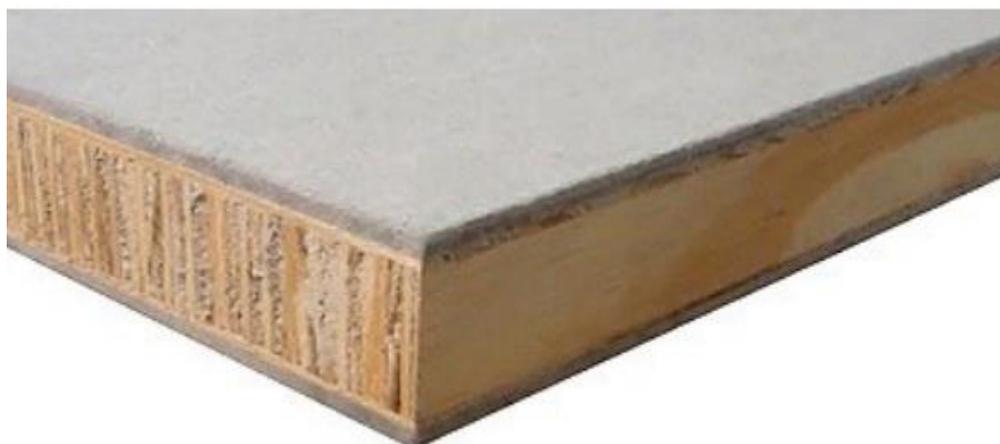
Segundo Silva (2010), para esse tipo de sistema construtivo é possível fazer dois tipos de laje: laje seca e laje mista.

A laje seca é composta por um painel de duas faces de placas cimentícias reforçadas com fios sintéticos de polipropileno, e em meio a essas duas placas o miolo é composto por madeira.

Ainda segundo Silva (2010), a laje seca possui diversas vantagens, como por exemplo não propaga chamas, aceita diversos tipos de revestimento, possui um ótimo isolamento térmico e acústico, além de ser ecologicamente correta, pois a madeira em seu miolo é proveniente de reflorestamento.

Um exemplo possível são os painéis com espessura de 40 milímetros, contendo 1,2 metros de largura, 3 metros de comprimento, que pesam em torno de 108 quilos, mas podem vencer grandes vãos e suportar até 500 kg/m². A seguir na Figura 34 ilustra-se a placa utilizada em laje (GLOBALPLAC, 2017).

Figura 34- Painel em placas cimentícias e miolo de madeira.



Fonte: Silva, 2010, p.2.

Para realizar o transporte deste tipo de material, é necessário utilizar uma empilhadeira ou por meio de grua, assim sendo possível movimentar até 15 painéis de 40 milímetros ou 25 painéis de 23 milímetros. Já para o armazenamento, é indicado estocá-las em lugares secos e abrigados, envoltos por plástico para proteger ao máximo de agentes climáticos, pragas ou poeira (SILVA, 2010).

Por fim, as lajes mistas são compostas de placas de OSB, somadas a uma camada de fina de lâmina plástica - filme de polietileno -, e, acima desta camada, é aplicada um lastro de concreto com malha metálica. A diferença entre esses dois métodos de execução de laje em *Wood Frame*, é que na laje mista é necessário a utilização de contrapiso reforçado de 3 a 4 centímetros com fibras de polietileno ou aço (SILVA, 2017).

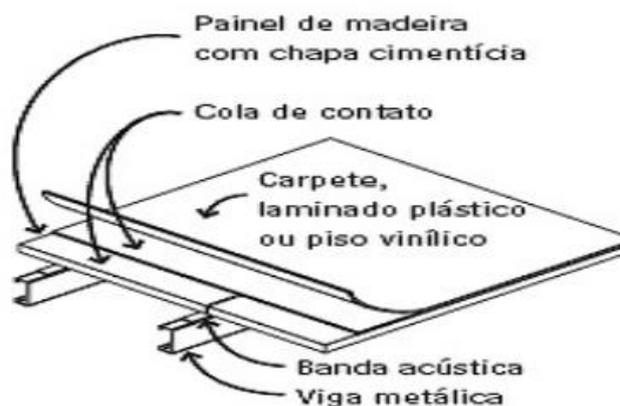
Em quaisquer tipos de laje em madeira, é possível utilizar acabamentos como revestimento final da estrutura.

Podem ser aplicados diversos tipos de acabamentos sendo que se deve calafetar as juntas com selante, limpar a superfície antes de colocar qualquer revestimento e onde for área molhada deve-se ainda realizar a impermeabilização com emulsão asfáltica ou com outra impermeabilização flexível (SILVA, 2010, p 52).

Para revestimentos de carpetes, vinílicos ou pisos laminados, é aplicado primeiramente uma banda acústica que ajuda no desempenho acústico da

construção; em seguida passa-se cola de contato e por fim, a aplicação do revestimento escolhido, assim como mostra a Figura 35.

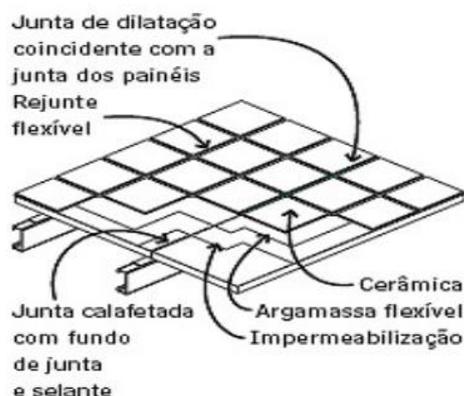
Figura 35- Aplicação de revestimento.



Fonte: Silva, 2017, p.8.

Já na aplicação de revestimento cerâmico, é feita a impermeabilização de toda a área a ser revestida, depois disso ocorre calafetação dos painéis OSB e, por fim, recomenda-se o uso de argamassa ACII – Argamassa Colante 2 para posteriormente a colocação de cerâmica, assim a Figura 36.

Figura 36 - Aplicação de revestimento.



Fonte: Silva, 2017, p.8.

5.2.5. Instalações hidrossanitárias e elétricas

De acordo com Zaparte (2014), as instalações elétricas e hidráulicas, podem ser feitas de maneira semelhante a uma construção convencional.

As instalações hidrossanitárias são executadas entre os montantes das paredes, e entre a laje e o forro, podendo ser executadas a partir de PVC ou PEX - polietileno reticulado, assim como mostrado nas Figuras 37 e 38.

Figura 37 - Instalações hidrossanitárias.



Fonte: Zaparte, 2014, p. 55.

Figura 38 - Instalações hidrossanitárias.



Fonte: Zaparte, 2014, p. 55.

As instalações elétricas são executadas da mesma forma como mostrado na Figura 39, porém dentro de conduites por entre forro e dentro de montantes.

Figura 39 - Instalações elétricas.

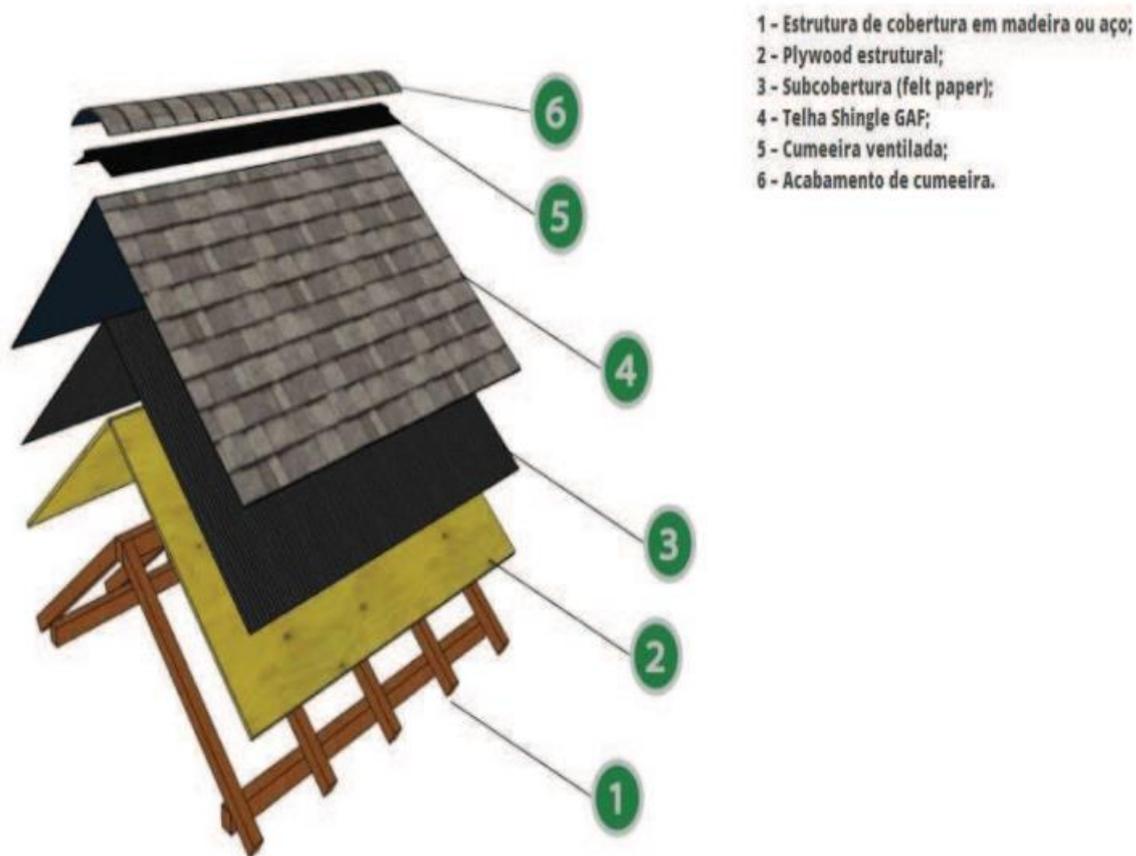


Fonte: Zaparte, 2014, p. 55.

5.2.6. Telhado

A cobertura de telhado mais utilizada neste método construtivo é a telha *Shingle*. As telhas *shingle* são compostas por fibra de vidro saturada em asfalto e grânulos cerâmicos que depois de instalada, veda totalmente o telhado. Na Figura 40, mostram-se as camadas deste tipo de telha.

Figura 40 - Camadas de um telhado de telha *shingle*..



Fonte: Zaparte, 2014, p. 44.

Para receber esse tipo de cobertura, o telhado precisa ser contraventado com chapas de OSB para que a telha *shingle* seja fixada, além de uma manta de subcobertura que irá garantir a estanqueidade. A maior vantagem deste tipo de cobertura é que é leve e flexível, próprio para o *Wood Frame*. (ZAPARTE, 2014).

5.2.7. Revestimento externo

O revestimento externo se faz necessário na construção para evitar a entrada de água, conferir durabilidade e contribuir para a aparência da edificação. O sistema *Wood Frame* permite a utilização de diversos tipos de revestimentos externos, de acordo com a necessidade e condição financeira do usuário. Os tipos mais utilizados são o *siding* vinílico, madeira e placas cimentícias que dão um acabamento

semelhante ao da alvenaria, além de tijolos aparentes e argamassa armada (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010).

Tendo como referência o *vinyl siding* que é o tipo de revestimento externo mais utilizado no exterior, esse acabamento proporciona facilidade de instalação, economia, facilidade de manutenção, versatilidade, ou seja, adapta-se a qualquer projeto arquitetônico, durabilidade e resistência elevada já que resiste à ação de intempéries, raios UV, poluição e maresia, assim como não quebra e não racha, portanto, um ótimo material (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010). A seguir, na Figura 41, mostra-se como é o acabamento final deste revestimento.

Figura 41 - Tipos de *vinyl siding*.

	Peça	Dimensão (m)	Peso (kg)	Cores	
1		Siding Vinílico Revestimento de paredes	0,20 x 3,80	1,54	Branco e Bege
		Siding Vinílico (Modelo Alemão) Revestimento de paredes	0,20 x 3,80	1,54	Branco e Cinza
2		Cantoneira externa Acabamento de encontro de paredes em ângulos externos	3,00	1,40	Branco
3		Cantoneira interna Acabamento de encontro de paredes em ângulos internos	3,00	0,96	Branco
4		Perfil de início Trava a primeira régua do revestimento Siding Vinílico	3,80	0,96	Branco
5		Perfil de arremate Acabamento em contornos de portas, janelas, aberturas e encontros de paredes com beirais	3,80	0,76	Branco
6		Perfil de término Trava a última régua do revestimento Siding Vinílico	3,80	0,62	Branco
7		Moldura Acabamento em contornos de portas, janelas e aberturas	3,80	0,34	Branco
8		Beiral vinílico Revestimento de beirais com ventilação	0,3 x 3,60	2,46	Branco
9		Perfil F Acabamento e trava para revestimento de beiral ventilado	3,60	0,56	Branco
10		Tabeira Acabamento espelho do beiral	3,80	1,25	Branco

Fonte: LP Building Products, 2017, p.1.

5.2.8. Impermeabilização

Um dos fatores mais preocupantes em estruturas de madeira é com a umidade, no caso do OSB e do *drywall*. Como a placa não possui resistência à passagem de água, torna-se essencial a utilização de materiais impermeáveis para a sua completa vedação (ZAPARTE, 2014).

Os métodos mais utilizados são manta asfáltica e membrana polimérica. Ambos os produtos podem ser utilizados em áreas molhadas internas, como por exemplo banheiros e cozinhas, seguindo as instruções de utilização dos fabricantes (GUILHERME; RIBEIRO, 2012).

Além disso, também é possível utilizar mantas hidrófugas, que impossibilitam que a umidade penetre na estrutura, além de barrar o vento, poeira, vapor d'água e calor (BOLSONI, 2021).

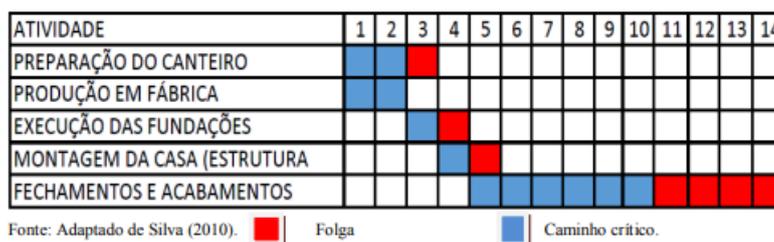
5.2.9. Isolamento térmico e acústico

Os isolantes acústicos e térmicos são materiais como placas de lã de rocha ou lã de vidro, poliestireno expandido utilizado entre os montantes e no telhado, para diminuir a condutividade de calor ou frio para dentro da residência, e evitar que barulhos externos ao edifício ultrapasse os níveis de decibéis permitidos em lei (BOLSONI, 2021).

5.3. Fluxograma do processo construtivo

Segundo Silva (2010), um cronograma possível na Figura 42 mostra que levaria de 10 a 14 semanas para a entrega completa de uma casa com 166 m² de área construída no sistema *Wood Frame*, desde a preparação do terreno até o acabamento final.

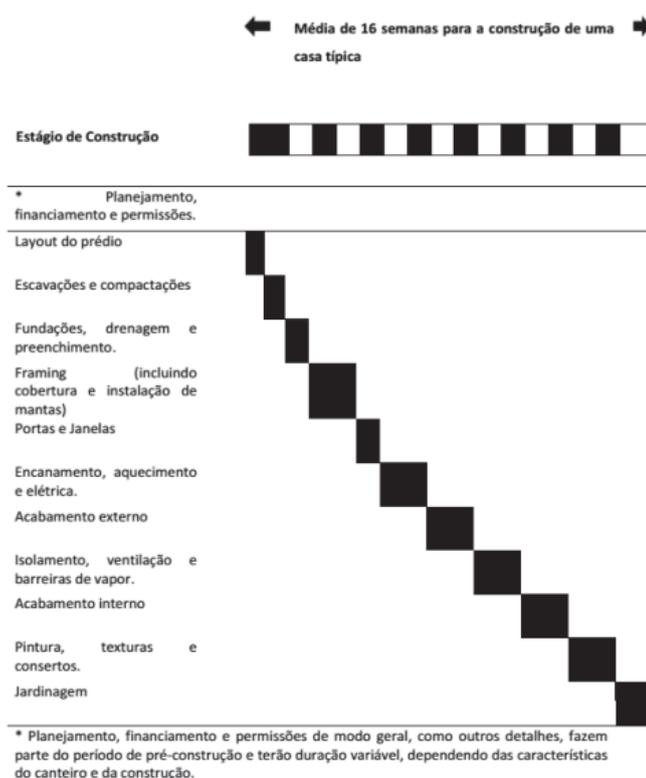
Figura 42 - Cronograma de construção.



Fonte: Silva ,2010 p.12

Já segundo Zaparte (2014) assim como mostrado na Figura 43, uma casa de porte médio no sistema *Wood Frame*, levaria entre 16 a 18 semanas para sua construção completa,

Figura 43- Cronograma de construção.



Fonte: Zaparta, 2014, p.55

Ambos os cronogramas foram baseados em etapas como fundação, estrutura principal, instalações hidrossanitárias e elétricas e acabamento do sistema *Wood Frame*. Este processo de produção é considerado rápido e resultado da soma de vários fatores que colaboram para tal agilidade, como por exemplo, o uso de painéis compensados, painéis de partículas orientadas - OSB - e placa de gesso e componentes pré-fabricados como, vigas de madeira, janelas e portas (ZAPARTA, 2014).

6. ENTREVISTAS COM PROFISSIONAIS DO MEIO

6.1. Entrevista com a Construtora Gaucho

A Construtora Gaucho – Engenharia do Frame foi fundada pelo Engenheiro Carlos Alves, em meados de 1990, na cidade de Taquara no Rio Grande do Sul.

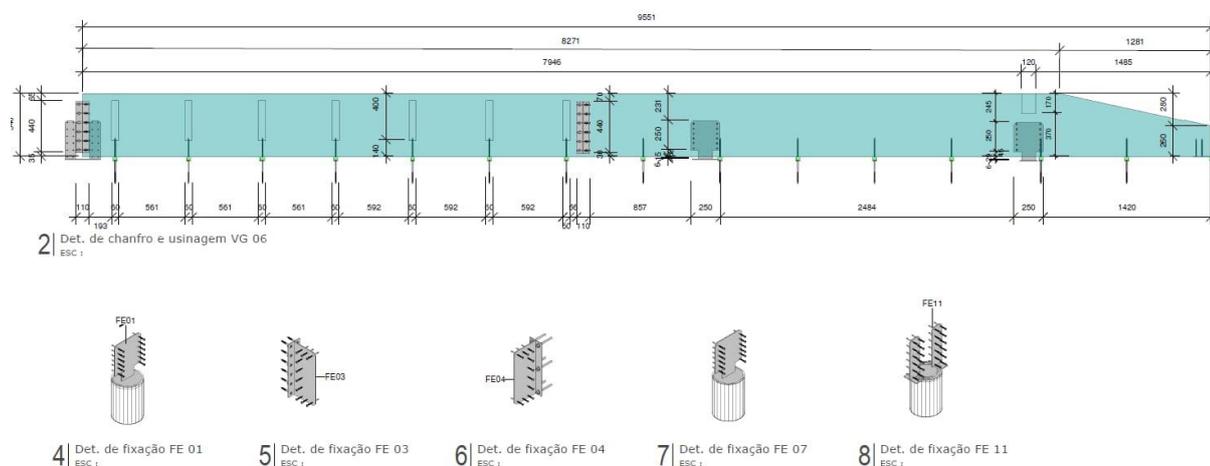
A construtora Gaucho é especializada em obras de *Wood Frame* e *Steel Frame*, trabalha com casas de alto padrão acima de 200m² de área construída.

A empresa compra a madeira pronta e refina a madeira na máquina moldureira refinando as 4 faces da madeira.

Na Gaucho, toda parte de modelagem de madeira é feita no *Solidworks*, e dimensionamento da estrutura também faz parte do escopo da construtora, para assegurar a confiabilidade dos dados e elaborar o restante dos projetos. O projeto de instalações também é responsabilidade da construtora, para assegurar as compatibilizações entre os demais projetos, como arquitetura e estrutura.

Um exemplo de projeto estrutural utilizado na construtora é dado nas Figura 44, em que se mostra um exemplo de projeto detalhado de uma viga do sistema *Wood Frame*; observam-se as medidas da viga, juntamente as peças que fazem o encaixe dela com as guias superiores.

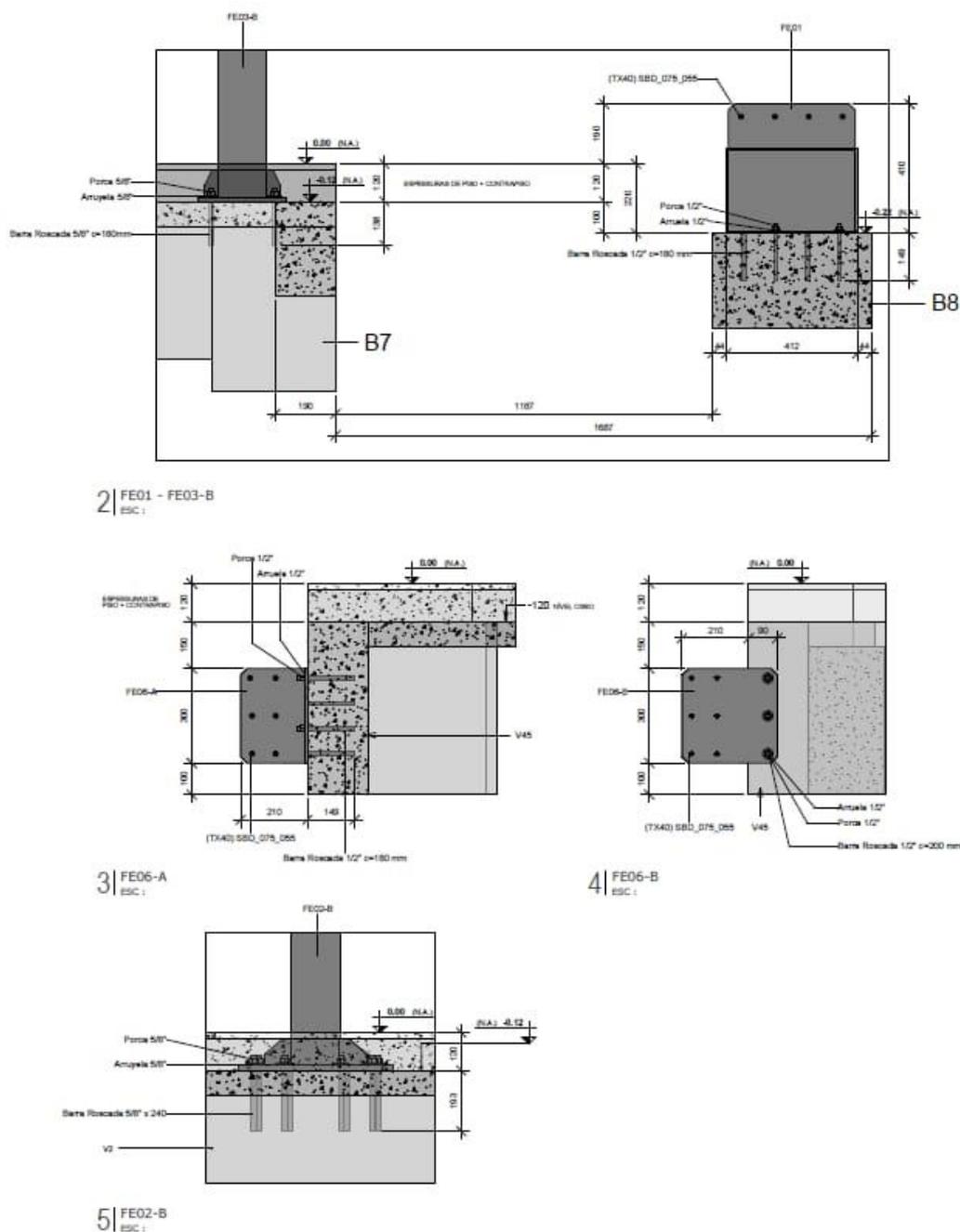
Figura 44-Projeto estrutural de *Wood Frame* da Construtora Gaucho.



Fonte: Construtora Gaucho, 2023.

Já na Figura 45 é mostrado o tipo de ligação entre a estrutura de madeira, mais especificamente os montantes e a fundação de concreto, juntamente as medidas e tipos de parafusos utilizados no processo.

Figura 45- Projeto estrutural de *Wood Frame da Construtora Gaucho*.



Fonte: Construtora Gaucho, 2023.

A construtora utiliza o Eucalipto, com *Wood Frame* com autoclave produto CCA, além de montantes de 45 milímetros por 90 milímetros, considerada a medida padrão para esse tipo de construção.

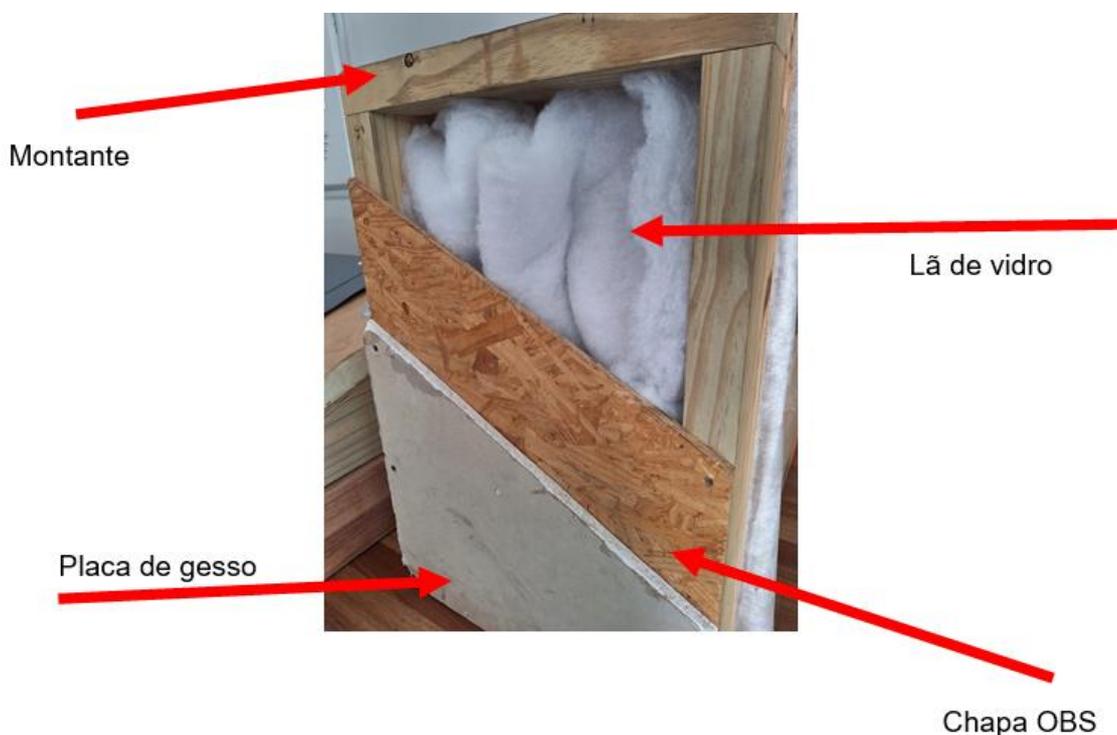
De acordo com o Carlos (comunicação verbal, 2023), uma casa por volta de 270m² é construída por apenas 4 pessoas em torno de 90 dias, considerando apenas estrutura e instalações.

Na parte construtiva, utilizam-se:

- Revestimento externo chapa de compensado – *plywood* (compensado produzido com um tratamento especial de verniz ultravioleta) ou *OSB* - mais membrana de papel impermeabilizante, isopor de alta densidade com 20 milímetros para isolamento térmico, além da tela de fibra de vibro com 3 milímetros de espessura, e o *basecolt* para resistência mecânica;

- Internamente, pode ser utilizada lã de vidro e *drywall*, ou lã de vidro, OSB e chapa cimentícia, assim como mostrado na Figura 46.

Figura 46- Camadas de uma parede de *Wood Frame* da Construtora Gaucho.



Fonte: Construtora Gaucho, 2023.

- Telhado, sempre em função da praticidade. Toda a estrutura é feita a partir de tesouras, com lâ de vidro e telhas, que são escolhidas a partir do projeto e escolha do cliente. A Figura 47 mostra uma tesoura no sistema *Wood Frame*.

Figura 47- Tesoura de *Wood Frame* da Construtora Gaucho.



Fonte: Construtora Gaucho, 2023.

- O tipo de laje escolhida preferencialmente é a laje úmida, que utiliza vigas de madeira, por cima duas placas de *plywood*, somados mais 5 centímetros de argamassa, para melhorar a acústica.

6.2. Entrevista com a *Frame System*

A Construtora *Frame System*, foi fundada pelo Engenheiro Júlio Cesar, em meados de 2001, na cidade de Toledo no Paraná, porém já possuem obras no Brasil todo, também no Paraguai e Argentina.

Toda madeira maciça utilizada na construção é terceirizada, da espécie Eucalipto, assim como demonstrado na Figura 48.

Figura 48- Madeira de eucalipto.



Fonte: *Construtora Frame System*, 2023.

A construtora *Frame* é especializada em obras de *Wood Frame* e *Steel Frame*, trabalham com casas de alto padrão acima de 200m² de área construída, como mostra Figura 49.

Figura 49- Obras de *Wood Frame* da Construtora Frame System.

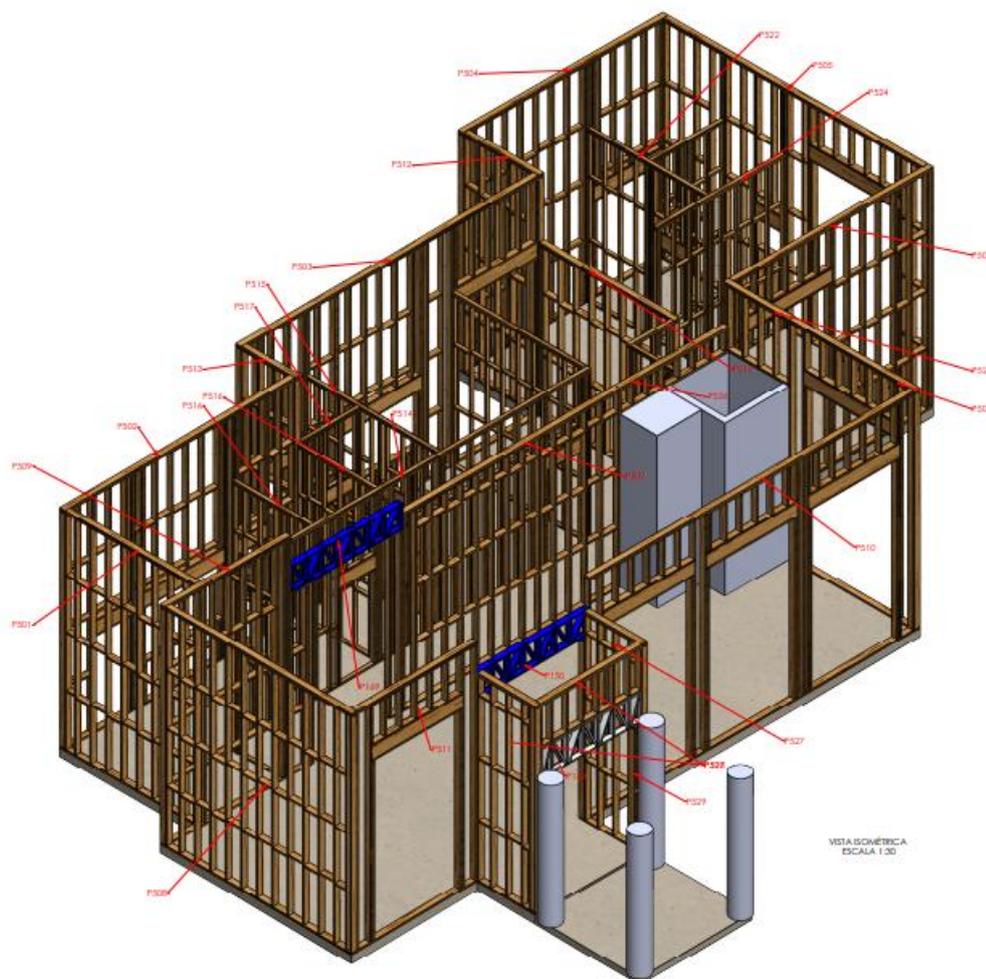


Fonte: *Construtora Frame System*, 2023, p.2.

Primeiramente, toda a parte de projeto de arquitetura é feita pelo cliente, e projeto estrutural é de responsabilidade da construtora. Nas Figuras 50, 51 e 52, são exemplificados como os projetos de estrutura de uma casa de *Wood Frame* são elaborados pela Construtora Frame System.

Na Figura 50, é ilustrado um projeto estrutural de *Wood Frame* que detalha as guias superiores do edifício.

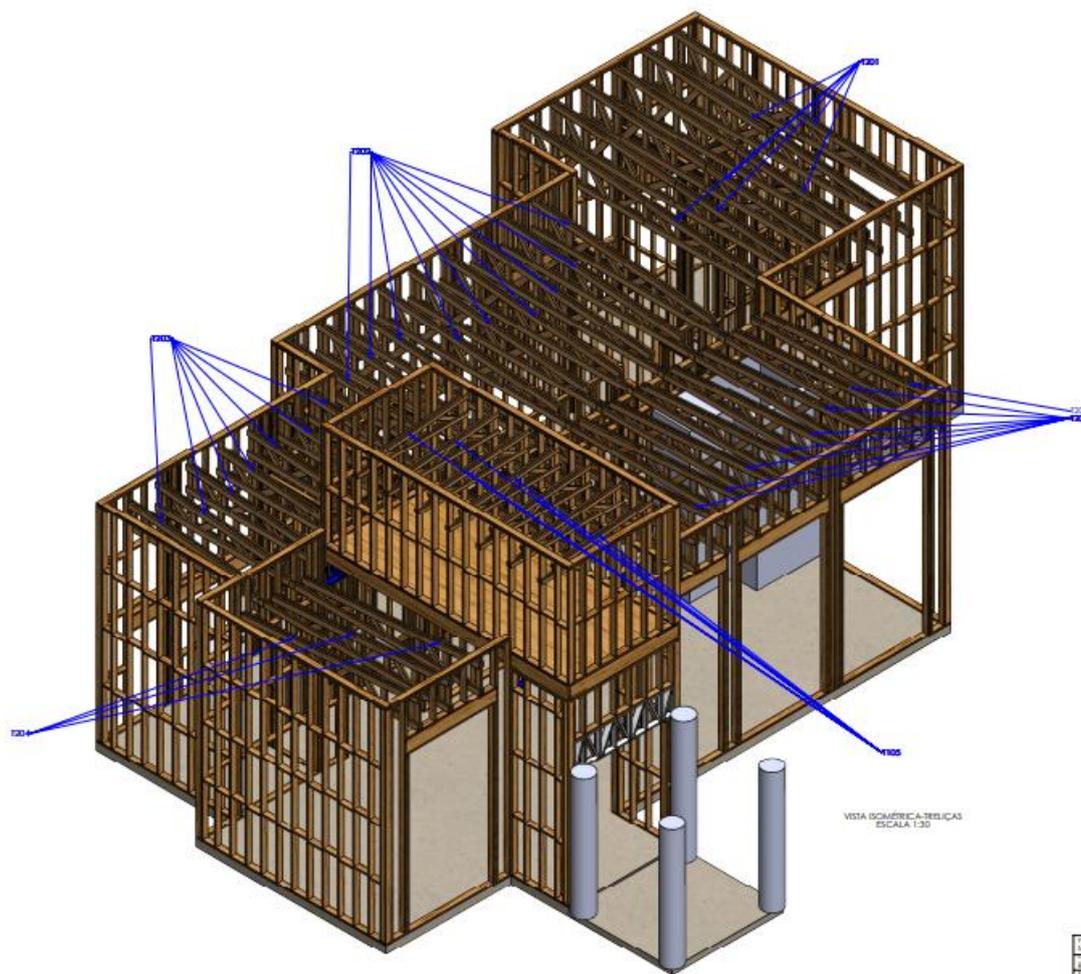
Figura 50- Projeto estrutural de *Wood Frame* da Construtora Frame System.



Fonte: *Construtora Frame System*, 2023.

Já Figura 51 ilustram projeto estrutural em *Wood Frame* em que são detalhados os barrotes, estruturas responsáveis por sustentar as lajes do edifício.

Figura 51- Projeto estrutural de *Wood Frame* da Construtora Frame System.



Fonte: *Construtora Frame System*, 2023.

Já na Figura 52, é exemplificado o projeto estrutural, que permite mostrar a localização das vigas de madeira.

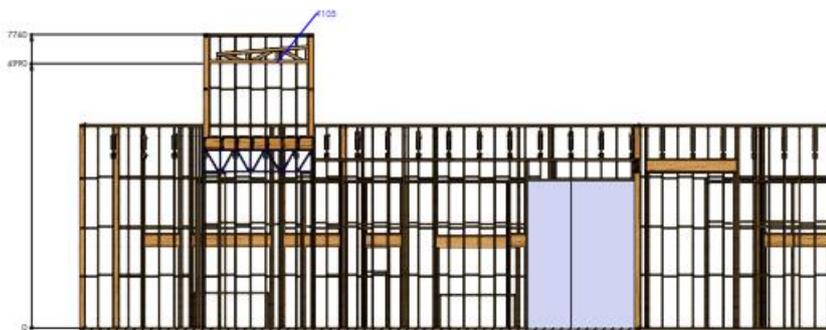
Figura 52 - Projeto estrutural de *Wood Frame* da Construtora *Frame System*.



Fonte: Construtora *Frame System*, 2023.

E por fim, na Figura 53, mostra-se a vista lateral da construção, demonstrando as guias superiores, montantes, blocos e vergas.

Figura 53 - Vista lateral da casa de *Wood Frame* da Construtora *Frame System*.



Na segunda etapa da construção, a fundação é realizada pelo empreiteiro do cliente, e todo o restante da estrutura até o acabamento, a equipe do Júlio é quem faz.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Na segunda etapa da construção, a fundação é realizada pelo empreiteiro do cliente, e todo o restante da estrutura até o acabamento, a equipe do Júlio é quem faz.

Para iniciar a estrutura do edifício, a equipe começa pelos montantes, utilizam *drywall* por dentro para fechamento, laje seca, placa cimentícia do lado de fora, além do basecoat e tesouras para o telhado. E para cobertura é utilizado telha sanduiche ou *shingle*, a gosto do cliente.

Segundo o Cesar (comunicação verbal, 2023), a madeira utilizada no *Wood Frame* é considerada um método construtivo que proporciona conforto térmico, ou seja, suporta variações de temperatura; também um material ótimo para a acústica da casa, e mais rápido de ser executado.

Os serviços prestados pela Construtora são cobrados por m², sendo assim a mão de obra sem acabamento pode variar de R\$750,00 até R\$950,00 apenas na estrutura da obra, e a obra acabada R\$3500,00 o m².

A Figura 50 mostra residência anteriormente destacada em projeto - Figura 54, já com estrutura finalizada, e iniciando a fase de acabamentos.

Figura 54 - Casa construída pela Frame System.



Fonte: *Construtora Frame System*, 2023.



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo realizado nesta pesquisa, pode-se considerar que a madeira é um material amplamente empregado na construção, com uma história de uso que remonta à antiguidade, edifícios de estrutura em madeira com mais de 1.300 anos de idade, ainda em uso atualmente, o que demonstra a durabilidade excepcional desse material quando adequadamente tratado e preservado. Portanto, a madeira é um material que se faz presente na construção civil há muitos anos e continua sendo uma opção viável e sustentável para a construção de edificações.

Ao longo deste estudo, foram abordados diversos aspectos relacionados ao *Wood Frame*, desde sua origem e conceito até o processo de fabricação das peças, logística e construção propriamente dita.

Constatou-se neste trabalho que a madeira é uma alternativa promissora para a construção civil em vários aspectos; o sistema construtivo *Wood Frame* utiliza estruturas de madeira, painéis estruturais e isolantes térmicos para construir casas e edifícios, devido à sua eficiência energética, rapidez de construção, redução de custos, facilidade de adaptação a diferentes terrenos, durabilidade da construção e redução de desperdícios. Além disso, a madeira utilizada no *Wood Frame* é proveniente de manejo florestal responsável e submetida a tratamentos específicos, o que torna essa técnica construtiva uma opção sustentável.

Além disso, foram apresentadas as normas e recomendações tanto internacionais quanto nacionais que regem a utilização desse sistema construtivo, como a ABNT NBR 16611:2017 - Sistemas construtivos em estrutura de madeira e a ABNT NBR 15575:2021 - Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais. A ABNT NBR 16611:2017 estabelece os critérios e orientações necessários para o desenvolvimento, produção e instalação de sistemas construtivos baseados em estruturas de madeira. Ela aborda desde a seleção da madeira até a execução da obra, passando por aspectos como dimensionamento, fixação, proteção contra umidade e fogo, entre outros.

Já a ABNT NBR 15575:2021 tem como propósito estabelecer diretrizes mínimas de desempenho que devem ser observadas nas edificações residenciais. Ela aborda elementos relacionados à segurança, conforto e durabilidade das construções, incluindo aspectos como isolamento acústico, térmico, resistência estrutural, entre outros.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

O processo construtivo do *Wood Frame* exposto no estudo é altamente industrializado e padronizado, o que garante a qualidade e a precisão das peças, desde da fabricação das peças, a logística ao canteiro de obras ao processo da obra que é evidenciada em etapas tendo início na fundação que pode ser do tipo radier ou sapata corrida, dependendo das cargas da construção e do tipo de solo do terreno, a estrutura que composta por peças de madeira, como vigas, pilares e painéis, que são pré-fabricadas e montadas no canteiro de obras.

Essas peças são fixadas entre si por meio de conectores metálicos e parafusos, seguindo da etapa de fechamento em que são instalados os painéis de fechamento, que podem ser de diferentes materiais, como placas cimentícias, OSB, gesso acartonado, entre outros, seguindo para as instalações elétricas, hidráulicas e de gás, que são embutidas nos painéis de fechamento; por fim, são realizados os acabamentos, como pintura, revestimentos e colocação de pisos e azulejos. A utilização de materiais leves e pré-fabricados permite uma obra mais rápida e limpa, com menos desperdício de materiais e menor impacto ambiental.

Por fim, espera se que este estudo tenha contribuído para disseminar informações relevantes e atualizadas sobre o *Wood Frame*, permitindo que profissionais da área da construção civil possam avaliar a viabilidade de sua utilização em seus projetos, que possa ser útil para a comunidade acadêmica e profissional. E que também possa fornecer informações relevantes e atualizadas sobre o *Wood Frame*, para que profissionais da área da construção civil possam avaliar a viabilidade de sua utilização em seus projetos da construção civil possam avaliar a viabilidade de sua utilização em seus projetos.

Propõem-se para futuras pesquisas compreender os motivos pelos quais este método construtivo não é tão difundido no Brasil. Além disso, desenvolver pesquisas práticas in loco sobre a construção, valorizando seus pontos fortes, e também citar hipóteses de projetos a serem executados a partir do *Wood Frame*.



8. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M. **OSB**: processo industrial e considerações. Revista da Madeira, Curitiba, v. 8, n. 46, p. 56-66, jul. 2000.

ALLEN, E.; THALLON, R. **Fundamentals of Residential Construction**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

ANZOLIN, A. **Veja aqui as características e usos da madeira de ipê**. 2019. Disponível em: <https://blog.leomadeiras.com.br/madeira-de-ipe/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

APA, THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATIONS. **Engineered Wood construction Guide**. Washington: APA Wood. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa Setorial 2017/2018**. São Paulo: Abrecon, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123** - Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190** - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7197** - Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10821** - Cálculo de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1** - Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16611** - Sistemas construtivos em estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 2017.

AWC, 2014, American wood Council. **Wood Frame Construction Manual for One- and Two-Family Dwellings**. 2015.

BRITO, 2014. Leandra Dussarrat, **Patologia Em Estruturas De Madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-18122014-090958/publico/2014DO_LeandroDussarratBrito.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.

BOLSONI, F.. **Introdução ao Wood Frame**. 1ªed. Florianópolis: Escrita Criativa, 2020.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.2020. **PIB Brasil e Construção Civil**. Disponível em< <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-econstrucao-civil>>. Acesso em: 21 maio 2023.

CATAI, R. E.. PENTEADO, André Padilha. DALBELLO, Paula Ferraretto. **Materiais, Técnicas e Processos para Isolamento Acústico**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2006. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT12032009181855.pdf> >. Acesso em: 12 set. 2023.

COINASKI, M. S.; SIQUEIRA, Vinícius de Azevedo. **Wood Frame: um estudo de atendimento às normas e à cultura habitacional brasileira**. 2016. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

DA SILVA, Isabela Pereira; CAMPOS, José Henrique Oliveira. **Método Construtivo em Wood Residências de Madeira**, 2022.

DIRETRIZ SINAT 005, MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional da Habitação Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) Sistema Nacional de Avaliações Técnicas Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos, 2017.

EISFELD, C. L.; BERGER, R. **Análise das Estruturas de Mercado das Indústrias de Painéis de Madeira (Compensado, MDF e OSB) no Estado do Paraná**. Floresta, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 21-34, jan./mar. 2012.

ESPÍNDOLA. L. R., INO, A.2008. **Sistemas Abertos Em Madeira Como Propostas para habitações de interesse social**. XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA Londrina. Disponível em < <https://giem.ufsc.br/files/2017/02/Sistemas-Abertos-em-Madeira-como-Propostas-para-Habita%C3%A7%C3%B5es-de-Interesse-Social.pdf>.> Acesso em: 06/10/2023.

ESPÍNDOLA. L. R., INO, A.2017. **O Wood Frame na produção de habitação social no Brasil**. Universidade de São Paulo Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em|: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-113504/publico/TeseCorrigidaLucianaEspindola.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2023.

FERNANDES, D. et al. **Eficiência acústica: lã de vidro e de lã de rocha como isolantes para o sistema Drywall**. Anais da Engenharia Civil / 2595-1823, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 115 - 129, apr. 2018. Disponível em: <<https://uceff.edu.br/anais/index.php/ENGCIVIL/article/view/154>>. Acesso em:12 set. 2023.

GUILHERME, R.; RIBERIO, R.. **Análise de sistemas de impermeabilização para placas de osb (oriented strand board) em construções energéticas sustentáveis (ces)**. Revista de Engenharia e Tecnologia. Ponta Grossa. 2012.



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

LASEMA. **Projeto de Extensão:** informes técnicos sobre secagem da madeira, 2021. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/lasema/files/2021/10/Informe-02-Importancia-da-secagem-da-madeira.pdf>> Acesso em: 12 set. 2023.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em Wood Frame para casas de madeira.** Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

MOTA, V. M.. **O método construtivo wood framing**, trabalho de Conclusão de Curso do Centro Universitário Anhanguera de São Paulo. Disponível em: <<https://repositorio.pgsscogna.com.br//handle/123456789/31066>>. Acesso em: 12 set. 2023.

NASCIMENTO, M. F.; BERTOLINI, M. da S.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. **Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 41-48, jan./mar. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212015000100005>. Acesso em: 12 set. 2023.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.

SILVA, C. C. da; SILVA, J. C. da. **Esquadrias de madeira para portas e janelas.** Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR 18/9/2007, Disponível em <<http://sbprt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTg3>>. Acesso em: 12 set. 2023.

SILVA, F. B. da. **Sistemas construtivos: Wood Frame - construções com perfis e chapas de madeira.** Agosto de 2010. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4531/1/TCC%20Marcos.pdf>. Acesso em: jul. 2023.

SILVA, M. R.R. da. **Construções sustentáveis:** um estudo sobre o método construtivo em *Wood Frame* para unidades residenciais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, SC. 2017.

SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. de P. L. **Panorama do sistema construtivo light Wood Frame no Brasil.** Ambiente Construído, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 309–326, 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/75222>. Acesso em: jun. 2023.

VITÓRIO, A. **Manutenção e gestão de obras de arte especiais: a importância da manutenção para a sustentabilidade do espaço construído.** In: VII ENAENCO. Recife. 2005.

VALLE, Â. do; MORAES, P. D. de; SZÜCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo. **Estruturas de madeira.** Universidade Federal De Santa Catarina,



Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Centro Tecnológico Departamento De Engenharia Civil, Florianópolis, Santa Catarina, 2012.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e *Wood Frame* em residências unifamiliares.** Curso Engenharia de Estruturas do Centro Universitário de Lins - Unilins, Lins - SP, 2014.

WANGAARD, F.F. **WOOD: its structure and properties.** The Pennsylvania State University, USA, 1979.

ZAPARTE, T. A.. **Estudo e adequação dos principais elementos do modelo canadense de construção em *Wood Frame* para o Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR. 2014.